

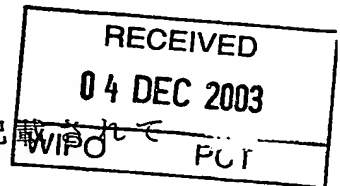
10/532422

22 APR 2005

PCT/JP03/11961

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

20.10.03



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2003年 3月 6日

出願番号
Application Number: 特願2003-059382
[ST. 10/C]: [JP2003-059382]

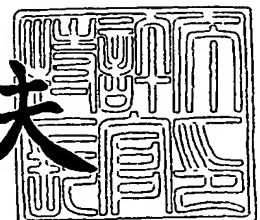
出願人
Applicant(s): 科学技術振興事業団

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年11月21日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願
【整理番号】 MP030130
【あて先】 特許庁長官殿
【発明者】
 【住所又は居所】 三重県四日市市河原田町 2 2 2 0
 【氏名】 前田 佳伸
【特許出願人】
 【識別番号】 396020800
 【氏名又は名称】 科学技術振興事業団
【代理人】
 【識別番号】 100085361
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 池田 治幸
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 007331
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光信号転送方法および光信号中継装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 所定の伝送路を介して伝送された一連の光信号を、複数の伝送路のうちの該光信号に含まれる行先情報に対応する伝送路へ転送する光信号転送方法であって、

該行先情報として該一連の光信号に振幅変調信号を付与し、該振幅変調信号が示す行先へ転送するようにしたことを特徴とする光信号転送方法。

【請求項 2】 前記一連の光信号は、90%以下の変調度で振幅変調されたものである請求項 1 の光信号転送方法。

【請求項 3】

前記一連の光信号はパケット信号であり、前記行先情報は該パケット信号の先頭部に設けられたラベル情報或いはタグ情報である請求項 1 または 2 の光信号転送方法。

【請求項 4】 前記行先情報として振幅変調が施された一連の光信号を相互利得変調型波長変換装置へ入力させる入力工程と、

前記光信号とは異なり且つ前記振幅変調信号に対応する波長の制御光を前記相互利得変調型波長変換装置へ供給し、該相互利得変調型波長変換装置から該制御光の波長の光信号を出力させる波長変換工程と、

前記相互利得変調型波長変換装置から出力された光信号を光分配装置に入力させ、該光信号をその波長に応じて該光分配装置に接続された複数の光伝送路へ分配する光分配工程と

を、含むことを特徴とする光信号転送方法。

【請求項 5】 前記波長変換工程は、前記相互利得変調型波長変換装置から出力される光信号に前記該制御光を用いて振幅変調を施すことにより、該光信号に新たな行先情報を再付与するものである請求項 4 の光信号転送方法。

【請求項 6】 光信号伝送ネットワーク間において、行先情報として振幅変調が施された一連の光信号を一方のネットワークから他方のネットワークの伝送路のうちの該光信号に含まれる行先情報に対応する伝送路へ転送するための光信号中

継装置であって、

前記一連の光信号の振幅変調信号から、該振幅変調信号が示す行先に対応し且つ前記光信号とは異なる波長の制御光を発生させる制御光発生装置と、

前記一連の光信号を前記制御光の波長の光信号に変換する相互利得変調型波長変換装置と、

該相互利得変調型波長変換装置から出力された光信号をその波長に応じて複数の光伝送路へ分配する光分配装置と

を、含むことを特徴とする光信号中継装置。

【請求項 7】 前記光信号に含まれる振幅変調信号に応じて、前記制御光発生装置から該振幅変調信号が示す行先情報に応じた波長の制御光を発生させる電子制御装置または全光学的制御装置を備えたものである請求項 6 の光信号中継装置。

【請求項 8】 前記光信号の一部を分岐する光分波器と、

該光分波器により分岐された光信号を電気信号に変換して前記電子制御装置へ供給する光電信号変換器と、

前記光分波器よりも下流側に設けられ、該光分波器を通過して前記相互利得変調型波長変換装置に入力させる光信号を遅延させる光遅延素子とを備え、

前記電子制御装置は、前記光信号に含まれる振幅変調信号を抽出して、該振幅変調信号が示す行先情報に対応する波長の制御光を前記制御光発生装置から発生させるものである請求項 7 の光信号中継装置。

【請求項 9】 前記光分配装置により分配された光信号を一時的に記憶するための光信号記憶装置と、該光信号記憶装置から出力された光信号を入力側へ帰還させるための帰還用光ファイバとを備え、

前記電子制御装置は、前記光信号が一時記憶すべき光パケット信号である場合には、該光パケット信号を予め設定した記憶用波長に変換させるための制御光信号を出力させ、

前記光分配装置は、該記憶用波長に変換された後の光パケット信号を前記光信号記憶装置へ分配してそこで一時的に記憶させるものである請求項 8 の光信号中継装置。

【請求項 10】 前記光信号記憶装置は、光分配装置により分配された光信号を

受けるために光学的伝播長さが異なる複数本の光ファイバを並列に備えたものであり、

前記電子制御装置は、前記一時記憶すべき光パケット信号に必要とされる記憶時間に応じて、該光パケット信号を予め設定した記憶用波長に変換させるための制御光信号を出力させ、

前記光分配装置は、該記憶用波長に変換された後の光パケット信号を前記光信号記憶装置の複数本の光ファイバのいずれかへ分配してそこで一時的に記憶させるものである請求項 9 の光信号中継装置。

【請求項 11】 前記相互利得変調型波長変換装置は、入力された光をクロスゲイン変調特性を利用して増幅および波長変換して出力する単一の光増幅素子を直列に備え、前記光信号に含まれる行先情報に対応する制御光が入力されると、その制御光と同じ波長の光信号を出力するものである請求項 6 乃至 10 のいずれかの光信号中継装置。

【請求項 12】 前記相互利得変調型波長変換装置は、入力された光をクロスゲイン変調特性を利用して増幅および波長変換して出力する複数個の光増幅素子を直列に備え、前記光信号に含まれる行先情報に対応する制御光が入力されると、その制御光と同じ波長の光信号を出力するものである請求項 6 乃至 11 のいずれかの光信号中継装置。

【請求項 13】 前記相互利得変調型波長変換装置は、

入力された光をクロスゲイン変調特性を利用して増幅および波長変換して出力するために直列配置された第 1 光増幅素子および第 2 光増幅素子と、

第 1 波長の光信号と、該第 1 波長とは異なる第 2 波長の連続光である第 2 入力光とを合波して前記第 1 光増幅素子に入力させる第 1 光合波器と、

前記第 1 光増幅素子からの光から前記第 2 波長の光を選択する第 1 波長選択素子と、

該第 1 波長選択素子により選択された第 2 波長の光と第 3 波長の制御光とを合波して前記第 2 光増幅素子へ入力させる第 2 光合波器とを、含み、

前記第 2 光増幅素子は、前記制御光と同じ波長の光を出力することを特徴とする請求項 12 の光信号中継装置。

【請求項 14】 前記第 1 光増幅素子において、前記第 2 波長は前記第 1 波長の第 1 入力光の周囲光の波長域内の波長であり、前記第 2 光増幅素子において、前記第 3 波長は、前記第 2 波長光の入力光の周囲光の波長域内の波長である請求項 13 の光信号中継装置。

【請求項 15】 前記光増幅素子または第 1 光増幅素子および第 2 光増幅素子は、 $p-n$ 接合から構成される活性層を備えた半導体光増幅素子である請求項 11 乃至 14 のいずれかの光信号中継装置。

【請求項 16】 前記全光学的制御装置は、前記第 1 入力光の一部を分岐する光カップラと、前記制御光と同じ波長の連続光を発生する連続光源と、該連続光源からの連続光と該光カップラからの前記第 1 入力光の一部とを合波する光カップラと、該光カップラからの光を受けて、該第 1 入力光に含まれる変調信号を有する制御光を出力する、前記半導体光増幅素子よりも応答速度が遅い半導体光増幅素子とを含むものである請求項 15 の光信号中継装置。

【請求項 17】 前記半導体光増幅素子の活性層は、量子井戸、歪み超格子、または量子ドットから構成されたものである請求項 15 または 16 の光信号中継装置。

【請求項 18】 前記半導体光増幅素子は、前記活性層を通過した光を反射するための反射手段をその一端面に備え、他端面を通して入力光が入力され且つ出力光が取り出されるものである請求項 15 乃至 17 のいずれかの光信号中継装置。

【請求項 19】 前記半導体光増幅素子の他端面を通して前記半導体光増幅素子内に入力光を入力させ、該他端面を通して該半導体光増幅素子内から出力される光を該入力光とは異なる光路へ導く光サーキュレータまたは方向性結合素子が設けられたものである請求項 15 乃至 18 のいずれかの光信号中継装置。

【請求項 20】 前記第 1 波長選択素子は、導波路内の光伝播方向において屈折率が周期的に変化させられたグレーティングフィルタ、屈折率が異なる多数組の層が積層されて成る多層膜フィルタ、フォトリソニックバンドギャップを有するフォトリソニッククリスタルのいずれかから構成されたものである請求項 13 乃至 19 のいずれかの光信号中継装置。

【請求項 21】 前記光増幅素子または前記第 1 光増幅素子および第 2 光増幅素

子は、希土類元素が添加された光ファイバ増幅素子から構成されたものである請求項 11 乃至 14 のいずれかの光信号中継装置。

【請求項 22】 前記制御光発生装置は、前記光増幅素子の利得が飽和する強度よりも小さい強度の制御光を発生させるものである請求項 6 乃至 21 のいずれかの光信号中継装置。

【請求項 23】 前記光分配装置は、前記相互利得変調型波長変換装置から出力された出力光が入力されると、該入力された出力光を前記複数の光伝送路のうち前記制御光の波長に対応する光伝送路へ選択的に分配するものである請求項 6 乃至 22 のいずれかの光信号中継装置。

【請求項 24】 前記光分配装置は、入力ポートに接続された第 1 スラブ導波路と、複数の出力ポートに接続された第 2 スラブ導波路と、それら第 1 スラブ導波路および第 2 スラブ導波路の間に設けられた長さの異なる複数のアレー導波路とを備え、該入力ポートに入力された入力光をその波長毎に前記複数の出力ポートへ分配するアレー導波路格子型分波器である請求項 23 の光信号中継装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

本発明は、光ファイバなどの所定の伝送路を介して伝播した光信号を、その光信号に含まれる行先情報が示す他の伝送路へ転送するための光信号転送方法および光信号中継装置に関し、特に、高度情報処理が可能な光通信などの光エレクトロニクスに好適な光信号転送技術に関するものである。

【0002】

【従来技術】

広帯域、高速且つ高容量の信号伝送が可能な光通信の分野において、その光信号の通信、転送、分配がその広帯域、高速且つ高容量といった性質を損わないようにして行われることが期待されている。比較的近い将来に構築されることが予想されている波長分割多重（WDM）をベースとした光ネットワークでは、一方の光伝送路から伝送された波長の異なる複数種類のレーザ光である波長分割多重光信号を波長毎に所望の光伝送路へ転送する光信号の転送（光信号の中継）技術

が重要となる。光ファイバなどの所定の伝送路（たとえば波長バス）を介して伝播した一連の光信号（たとえばパケット信号）を、その一連の光信号に付されているラベル或いはタグのような行先情報が示す他の伝送路へ転送するための光信号転送、たとえば光ネットワーク内或いは光ネットワーク間でルーティングするルーティングでは、大容量且つ高速であるという光信号伝送の特徴を損うものであってはならず、ルータすなわち光信号中継（転送）装置においても高速で転送処理されること、信頼性が高く、小型であることなどが要求される。

【0003】

これに対し、たとえば特許文献1に記載された光パスクロスコネクタ装置10が提案されている。これによれば、波長多重伝送リンクの波長バスをG本ずつN個の波長群バスに分割する分波器11と、その分波器11によって分割された波長群毎にルーティング処理を実行するルーティング処理部12とが備えられ、波長群毎にルーティング処理が行われるように構成されている。この光パスクロスコネクタ装置10のルーティング処理部12は、波長群毎に波長変換する波長変換器14と、それにより波長変換された光を分配するためにコントローラ18によって制御される光マトリックススイッチ15とから構成されている。そして、この光マトリックススイッチ15は、マトリックス状光路の交点に配置されたメカニカル動作の反射鏡スイッチ40をコントローラ18によって択一的に動作させ、複数の波長群のうちその反射鏡スイッチ40により反射された1つの波長群を所望の伝送路へ出力させるように構成されるか（段落0042、図10(1)）、或いは、コントローラ18によって択一的に動作させられる光スイッチ150-1乃至150-5とメッシュ配線とが配置され、複数の波長群のうちその光スイッチ150により通過させられた1つの波長群をメッシュ配線内の1つの伝送路へ出力させるように構成される（段落0043、図10(2)）。

【0004】

【特許文献1】 特開2002-262319号公報

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記従来の光パスクロスコネクタ装置10では、コントローラ

18によって作動制御される反射鏡スイッチ40或いは光スイッチ150によってルーティング処理されることから、コントローラ18において電子的に処理された出力であるルーティング先（行先）を示すが指令信号に従って反射鏡スイッチ40或いは光スイッチ150が切換動作させられる。このため、光信号の一部を電気信号に変換してその電気信号に含まれる行先情報たとえばパケットのラベルやタグに含まれる転送関連信号を抽出し、それに従って反射鏡スイッチ40或いは光スイッチ150を電氣的に作動制御してから光信号を転送する必要があるため、応答速度が十分に得られなかった。また、転送先の伝送路（波長バス）の波長に合わせて波長を変換するために、上記ルーティング処理部12の他に波長変換部38が備えられており、そのような波長変換部38がルーティング処理部12に加えて設けられているので、装置が大型となるとともに、特にメカニカル作動の反射鏡スイッチ40が用いられる場合には信頼性が得られない場合があった。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は以上の事情を背景として為されたものであり、その目的とするところは、光信号のルーティングを高速で処理でき、或いは装置が小型となる光信号転送方法および光信号中継装置を提供することにある。

【0007】

本発明者は、以上の事情を背景として種々の検討を重ねた結果、半導体光増幅素子や希土類元素添加ファイバアンプなどの光増幅素子において、所定波長 λ_1 の入力光の周囲波長の自然放出光が、その入力光の強度変化に応答して強度変化し、その変化は入力光の信号強度変化に対して逆の強度変化をする（相互利得変調特性、クロスゲイン変調特性）点、および、その自然放出光の波長域内すなわち入力光の周囲波長域内の他の波長 λ_2 のレーザ光を上記入力光に重畳させて入射させると、上記自然放出光の信号（振幅）変化は維持されつつ、全体の強度が急激に増加するという現象すなわちレーザ誘導光信号増強効果（Laser-induced signal enhancement effect）を見い出した。そして、本発明者は、その現象を有する光増幅素子が、波長 λ_1 から λ_2 への波長変換機能としても把握し、その

波長変換機能とスイッチング機能とを備えた機能素子であることにも着眼し、行先情報を光信号に振幅変調して重畳させることによりその機能素子が波長多重信号のルーティング装置すなわち転送装置として好適に用いられることを見いだした。本発明はかかる知見に基づいて為されたものである。

【0008】

【課題を解決するための第1の手段】

すなわち、本発明の要旨とするところは、所定の伝送路を介して伝送された一連の光信号を、複数の伝送路のうちのその光信号に含まれる行先情報に対応する伝送路へ転送する光信号転送方法であって、その行先情報としてその一連の光信号に振幅変調信号を付与し、その振幅変調信号が示す行先へ転送するようにしたことにある。

【0009】

【第1発明の効果】

このようにすれば、一連の光信号の行先情報としてその一連の光信号に振幅変調信号が付与され、その振幅変調信号が示す行先へ転送される。このため、相互利得変調型波長変換装置に振幅変調された一連の光信号が入力される場合には、その光信号の振幅変調が示す行先情報に対応した波長の制御光がその相互利得変調型波長変換装置に供給されると、その制御光と同じ波長の出力光が出力されるので、たとえば光分配装置によりその出力光がその波長に応じた伝送路へ分配されることによってルーティングが行われる。このように、行先情報が振幅変調信号として光信号に付与されていることから、波長変換機能とスイッチング機能とを有する相互利得変調型波長変換装置が行先情報に対応した波長の光信号を出力して光分配装置による分配を可能とするので、高速かつ小型のルーティング装置すなわち光信号転送装置或いは光信号中継装置が可能となる。

【0010】

ここで、上記行先情報とは、たとえばIPアドレス或いは送信元アドレス、あるいは先アドレス、ソースルーティングのようなルート情報、データリンク層のコンネクション情報など、光信号の転送先の決定に関連する情報である。

【0011】

【第1発明の他の態様】

ここで、好適には、前記一連の光信号は、90%以下の変調度で振幅変調されたものである。このようにすれば、光信号が損われず、且つ行先情報が光信号に確実に付与される。

【0012】

また、好適には、前記一連の光信号はパケット信号であり、前記行先情報は該パケット信号の先頭部に設けられたラベル情報或いはタグ情報である。このようにすれば、パケット信号を構成する一連の光信号の先頭部に設けられたラベル部或いはタグ部において、振幅変調により情報ラベル情報或いはタグ情報が付与される。

【0013】

また、好適には、(a) 前記行先情報として振幅変調が施された一連の光信号を相互利得変調型波長変換装置へ入力させる入力工程と、(b) 前記光信号とは異なり且つ前記振幅変調信号に対応する波長の制御光を前記相互利得変調型波長変換装置へ供給し、その相互利得変調型波長変換装置から該制御光の波長の光信号を出力させる波長変換工程と、(c) 前記相互利得変調型波長変換装置から出力された光信号を光分配装置に入力させ、その光信号をその波長に応じて該光分配装置に接続された複数の光伝送路へ分配する光分配工程とが、含まれる。このようにすれば、行先情報として振幅変調が施された一連の光信号が相互利得変調型波長変換装置へ入力され、その光信号とは異なり且つ振幅変調信号に対応する波長の制御光が相互利得変調型波長変換装置へ供給されて、その相互利得変調型波長変換装置から該制御光の波長の光信号が光分配装置へ出力され、その出力された光信号はその波長に応じて光分配装置に接続された複数の光伝送路へ分配される。

【0014】

また、好適には、前記波長変換工程は、相互利得変調型波長変換装置から出力される光信号に該制御光を用いて振幅変調を施すことにより、その光信号に新たな行先情報を再付与するものである。このようにすれば、転送装置内において適宜転送先を付与できる。このため、たとえばリンクの状態、ノードの状態、ロタフィック状態に応じて転送ルートを決める動的ルーティングが可能となる。

【0015】

【課題を解決するための第2の手段】

また、上記方法発明が好適に実施されるための装置発明の要旨とするところは、光信号伝送ネットワーク間において、行先情報として振幅変調が施された一連の光信号を一方のネットワークから他方のネットワークの伝送路のうちの該光信号に含まれる行先情報に対応する伝送路へ転送するための光信号中継装置であって、(a) 前記一連の光信号の振幅変調信号から、該振幅変調信号が示す行先に対応し且つ前記光信号とは異なる波長の制御光を発生させる制御光発生装置と、(b) 前記一連の光信号を前記制御光の波長の光信号に変換する相互利得変調型波長変換装置と、(c) その相互利得変調型波長変換装置から出力された光信号をその波長に応じて複数の光伝送路へ分配する光分配装置とを、含むことにある。

【0016】

【第2発明の効果】

このようにすれば、行先情報として振幅変調信号が付与された一連の光信号が伝送されて来ると、制御光発生装置により、その一連の光信号の振幅変調信号からその振幅変調信号が示す行先に対応し且つ前記光信号とは異なる波長の制御光が発生させられ、相互利得変調型波長変換装置により、その一連の光信号が前記制御光の波長の光信号に変換され、光分配装置により、その相互利得変調型波長変換装置から出力された光信号がその波長に応じて複数の光伝送路へ分配される。したがって、波長変換機能とスイッチング機能を有する相互利得変調型波長変換装置が行先情報に対応した波長の光信号を出力して光分配装置による分配を可能とするので、高速かつ小型のルーティング装置すなわち光信号転送装置或いは光信号中継装置が可能となる。

【0017】

【第2発明の他の態様】

ここで、好適には、前記光信号に含まれる振幅変調信号に応じて、前記制御光発生装置からその振幅変調信号が示す行先情報に応じた波長の制御光を発生させる電子制御装置または全光学的制御装置を備えたものである。このようにすれば、電子制御装置または全光学的制御装置により、光信号に含まれる振幅変調信号

が示す行先情報に応じた波長の制御光が発生するように制御光発生装置が制御されることから、波長変換機能とスイッチング機能を有する相互利得変調型波長変換装置が行先情報に対応した波長の光信号を出力して光分配装置による分配を可能とするので、高速かつ小型のルーティング装置すなわち光信号転送装置或いは光信号中継装置が可能となる。また、電子制御装置が、前記主光導波路から入力される光信号に含まれる振幅変調信号のみを光学的に抽出し、制御光発生装置からそのアドレス信号に対応する波長の制御光を発生させる全光学的制御装置である場合には、アドレス信号以外の信号に対応する電磁波が発生しないので、光信号の秘匿性が確保される利点がある。

【0018】

また、好適には、(a) 前記光信号の一部を分岐する光分波器と、(b) その光分波器により分岐された光信号を電気信号に変換して前記電子制御装置へ供給する光電信号変換器と、(c) 前記光分波器よりも下流側に設けられ、該光分波器を通過して前記相互利得変調型波長変換装置に入力させる光信号を遅延させる光遅延素子とが備えられ、上記電子制御装置は、前記光信号に含まれる振幅変調信号を抽出して、その振幅変調信号が示す行先情報に対応する波長の制御光を前記制御光発生装置から発生させるものである。このようにすれば、波長変換機能とスイッチング機能を有する相互利得変調型波長変換装置が行先情報に対応した波長の光信号を出力して光分配装置による分配を可能とするので、高速かつ小型のルーティング装置すなわち光信号転送装置或いは光信号中継装置が可能となる。

【0019】

また、好適には、前記光分配装置により分配された光パケット信号を一時的に記憶する光信号記憶装置と、その光信号記憶装置から出力された光信号を入力側に帰還させる帰還用光ファイバとを備え、前記電子制御装置は、前記光信号が一時的に記憶させるべきものである場合には、その光パケット信号を予め設定した記憶用波長に変換させるための制御光信号を出力させ、前記光分波器は、該記憶用波長に変換された後の光パケット信号を前記光信号記憶装置へ分配してそこで一時的に記憶させるものである。このようにすれば、中継処理された複数の光パケット信号が同じ伝送路へ出力されようとする場合には、一方の光パケット信号が予

め設定した記憶用波長に変換され、光分波器は、その記憶用波長に変換された後の光パケット信号を前記光信号記憶装置へ分配してそこで一時的に記憶させてから入力側に帰還させられ、改めて中継処理が実行される利点がある。

【0020】

また、好適には、前記光信号記憶装置は、前記光分配装置により分配された光信号を受けるために光学的伝播長さが異なる複数本の光ファイバを並列に備えたものであり、前記電子制御装置は、前記一時記憶すべき光パケット信号に必要とされる記憶時間に応じて、該光パケット信号を予め設定した記憶用波長に変換させるための制御光信号を出力させ、前記光分配装置は、該記憶用波長に変換された後の光パケット信号を前記光信号記憶装置の複数本の光ファイバのいずれかへ分配してそこで一時的に記憶させるものである。このようにすれば、光パケット信号が並列配置された複数本の光ファイバのうちのそれに必要とされる記憶時間に応じた光ファイバ内で伝播させられる過程で一時記憶される。

【0021】

また、好適には、前記相互利得変調型波長変換装置は、入力された光をクロスゲイン変調特性を利用して増幅および波長変換して出力する単一の光増幅素子を直列に備え、前記光信号に含まれる行先情報に対応する制御光が入力されると、その制御光と同じ波長の光信号を出力するものである。或いは、前記相互利得変調型波長変換装置は、入力された光をクロスゲイン変調特性を利用して増幅および波長変換して出力する複数個の光増幅素子を直列に備え、前記光信号に含まれる行先情報に対応する制御光が入力されると、その制御光と同じ波長の光信号を出力するものである。このようにすれば、相互利得変調型波長変換装置は p n 接合から構成される活性層を備えた半導体光増幅素子により構成されるので、相互利得変調型波長変換装置が小型化されるとともに、信号増幅率が一層高められる。

【0022】

また、好適には、前記相互利得変調型波長変換装置は、(a) 入力された光をクロスゲイン変調特性を利用して増幅および波長変換して出力するために直列配置された第 1 光増幅素子および第 2 光増幅素子と、(b) 第 1 波長の光信号と、該第

1 波長とは異なる第 2 波長の連続光である第 2 入力光とを合波して前記第 1 光増幅素子に入力させる第 1 光合波器と、(c) 前記第 1 光増幅素子からの光から前記第 2 波長の光を選択する第 1 波長選択素子と、(d) その第 1 波長選択素子により選択された第 2 波長の光と第 3 波長の制御光とを合波して前記第 2 光増幅素子へ入力させる第 2 光合波器とを含み、前記第 2 光増幅素子は、前記制御光と同じ波長の光を出力するものである。このようにすれば、第 1 波長の第 1 入力光と第 2 波長の第 2 入力光とが入力された第 1 光増幅素子からの光から選択された第 2 波長の光と、第 3 波長の制御光とが第 2 光増幅素子へ入力させられるとき、その第 2 光増幅素子から出された光から前記光分配装置を用いて分配された第 3 波長の出力光は、前記第 1 波長の第 1 入力光および／または第 3 波長の第 3 入力光の強度変化に応答して変調された光であって、第 3 波長の制御光に対する信号増幅率が少なくとも 2 以上の大きさの増幅信号となるので、光信号の増幅処理を制御入力光を用いて直接行うことができる。

【0023】

また、好適には、前記第 1 光増幅素子において、前記第 2 波長は前記第 1 波長の第 1 入力光の周囲光の波長域内の波長であり、前記第 2 光増幅素子において、前記第 3 波長は、前記第 2 波長光の入力光の周囲光の波長域内の波長である。このようにすれば、第 1 光増幅素子或いは第 2 増幅素子からの出力光に含まれる第 2 波長或いは第 3 波長の信号が好適に増幅される。

【0024】

また、好適には、前記第 1 光増幅素子および第 2 光増幅素子は、p n 接合から構成される活性層を備えた半導体光増幅素子であり、その半導体光増幅素子の活性層は、量子井戸または量子ドットから構成されたものである。このようにすれば、量子井戸、歪み超格子、または量子ドットから構成される活性層を備えた半導体光増幅素子が用いられるので、光 3 端子装置の高速応答が可能となる。特に量子ドットを用いた場合には 100GHz 以上の応答速度が得られる。また、活性層として歪み超格子を用いると偏波依存性が小さくなる。

【0025】

また、好適には、前記全光学的制御装置は、前記第 1 入力光の一部を分岐する

光カプラと、前記制御光と同じ波長の連続光を発生する連続光源と、その連続光源からの連続光とその光カプラからの前記第1入力光の一部とを合波する光カプラと、その光カプラからの光を受けて、上記第1入力光に含まれる変調信号を有する制御光を出力する、前記半導体光増幅素子よりも応答速度が遅い半導体光増幅素子とを含むものである。このようにすれば、全光学的に制御装置が構成され、電子制御装置の場合のように光遅延素子が不要となる。

【0026】

また、好適には、前記半導体光増幅素子は、前記活性層を通過した光を反射するための反射手段をその一端面に備え、他端面を通して入力光が入力され且つ出力光が取り出されるものである。このようにすれば、1端面に備えられた反射手段によって活性層における通過路が実質的に長くされるので、光3端子装置の信号増幅率が一層高められる。また、フィードバック効果によって、出力信号の変調が一層高められる。

【0027】

また、好適には、前記半導体光増幅素子の他端面を通して前記半導体光増幅素子内に入力光を入力させ、該他端面を通して該半導体光増幅素子内から出力される光を該入力光とは異なる光路へ導く光サーキュレータまたは方向性結合素子が設けられたものである。このようにすれば、半導体光増幅素子の他端面から出た光はその他端面へ入力させる光を導く導波路に入ることがなく、専ら他の出力用導波路に導かれる。

【0028】

また、好適には、前記第1波長選択素子は、導波路内の光伝播方向において屈折率が周期的に変化させられたグレーティングフィルタ、屈折率が異なる多数組の層が積層されて成る多層膜フィルタ、フォトリックバンドギャップを有するフォトリッククリスタルのいずれかから構成されたものである。このようにすれば、第1光増幅素子からの光から第2波長が好適に抽出される。

【0029】

また、好適には、前記第1光増幅素子および第2光増幅素子は、希土類元素が添加された光ファイバ増幅素子から構成されたものである。このようにすれば、

第1光増幅素子および／または第2光増幅素子が光ファイバから構成されるので、光を伝播させる光ファイバの途中に前記第1光増幅素子および／または第2光増幅素子が構成される利点がある。

【0030】

また、好適には、前記光増幅素子へ入力される光信号の強度はその光増幅素子の利得が飽和する強度よりも大きくされたものであり、前記制御光発生装置は、前記光増幅素子から出力される信号に振幅変調を施すためにその光増幅素子に入力される制御光の強度を、その光増幅素子の利得が飽和する強度よりも小さくして発生させるものである。このようにすれば、振幅変調のために入力される制御光の強度が光増幅素子の利得が飽和する強度よりも小さくされるので、光増幅素子から出力される他の波長の光信号に影響しない利点がある。

【0031】

また、好適には、前記光分配装置は、前記相互利得変調型波長変換装置から出力された出力光が入力されると、該入力された出力光を前記複数の光伝送路のうち前記制御光の波長に対応する光伝送路へ選択的に分配するものである。たとえば、その光分配装置は、入力ポートに接続された第1スラブ導波路と、複数の出力ポートに接続された第2スラブ導波路と、それら第1スラブ導波路および第2スラブ導波路の間に設けられた長さの異なる複数のアレー導波路とを備え、該入力ポートに入力された入力光をその波長毎に前記複数の出力ポートへ分配するアレー導波路格子型分波器である。或いは、波長毎に異なる回折格子またはプリズムの屈折角度を利用して入力光をアレイ状に配列された複数のアレー導波路へ選択的に分配する回折格子型またはプリズム型光分配器を含むものである。このようにすれば、前記光3端子装置から出力された制御光に対応する波長の出力光は、その波長毎に複数の分岐導波路のうちのいずれかへ選択的に分配される。

【0032】

【発明の好適な実施の形態】

以下、本発明の一実施例である、所定の伝送路を介して伝送された一連の光信号を、複数の伝送路のうちのその光信号に含まれる行先情報に対応する伝送路へ転送する光信号転送方法を好適に実施するための光信号ルータすなわち光信号中

継（転送）装置 10 を図面に基づいて詳細に説明する。

【0033】

図 1 は、一方の光ネットワークにおける複数本の伝送路である入力光ファイバ F_{A1} 乃至 F_{AM} と他方の光ネットワークにおける複数本の伝送路である出力光ファイバ F_{B1} 乃至 F_{BM} との間に配設されて、入力光ファイバ F_{A1} 乃至 F_{AM} のいずれかを介して伝送された波長多重の光信号（レーザ光） L_{A1} 乃至 L_{AM} を、その光信号に幅変調により付与されている行先情報に基づいて決定された出力光ファイバ F_{B1} 乃至 F_{BM} のいずれか内の波長バスの 1 つへ転送するための光信号中継装置 10 を概略示す図である。上記入力光ファイバ F_{A1} 乃至 F_{AM} のいずれかにより伝送される光信号 L_{A1} 乃至 L_{AM} はそれぞれ波長分割多重（WDM）信号であり、予め設定された複数種類の波長の光信号が重畳されている。したがって、たとえば光信号 L_{A1} に含まれる所定波長の一連の波長 λ_1 の光信号 L_{A11} は、たとえばそのラベル部或いはタグ部において振幅変調が付与されることにより設けられた行先情報に従って、出力光ファイバ F_{B1} 乃至 F_{BM} のいずれか 1 つの光ファイバ F_B 内のいずれかの波長バスへ、すなわち予め設定された複数種類すなわち N 種類の波長 λ_1 乃至 λ_N のいずれかの波長で転送される。出力光ファイバ F_{B1} 乃至 F_{BM} は波長多重の光信号（レーザ光） L_{B1} 乃至 L_{BM} をそれぞれ伝送する。

【0034】

上記光信号中継装置 10 は、所定数すなわち M 本の入力光ファイバ F_{A1} 乃至 F_{AM} から伝送された波長多重の光信号 L_{A1} 乃至 L_{AM} を N 種類の波長 λ_1 乃至 λ_N 毎の一連の光信号（パケット）を波長毎の信号にそれぞれ分離、たとえば光信号 L_{A1} についてはそれを L_{A11} 乃至 L_{A1N} にそれぞれ分離する M 個の光分波器（AWG: Arrayed Waveguide Grating） S_1 乃至 S_M と、波長 λ_1 乃至 λ_N 毎の一連の光信号（パケット） L_{A11} 乃至 L_{A1N} をそれらに振幅変調により付与されている行先情報に従って波長変換するとともに従来の行先情報或いは新たな行先情報を振幅変調により付与する互いに同様に構成された M 個の第 1 中継器 R_1 乃至第 M 中継器 R_M と、それら第 1 中継部 R_1 乃至第 M 中継器 R_M から出力される光信号を合波して出力光ファイバ F_{B1} 乃至 F_{BM} へ導くための M 個の合波器（AWG） T_1 乃至 T_M とを備えている。

【0035】

図2は、上記互いに同様に構成された第1中継器 R_1 乃至第M中継器 R_M の構成を説明するために、たとえば入力光ファイバ F_{A1} と出力光ファイバ F_{B1} との間に対応する位置に設けられた第1中継器 R_1 を代表させてその構成を説明する図である。図2において、第1中継器 R_1 には、入力光ファイバ F_{A1} から伝送された波長多重の光信号 L_{A1} から光分波器 S_1 によってN種類の波長 λ_1 乃至 λ_N 毎に分離されたの一連の光信号（パケット） L_{A11} 乃至 L_{A1N} が光ファイバ F_{A11} 乃至 F_{A1N} を介して入力されると、その光信号 L_{A11} 乃至 L_{A1N} のラベル部或いはタグ部において振幅変調が付与されることにより設けられている行先情報に従って波長変換し且つそれまでと同じ行先情報か或いは新たな行先情報を示す振幅変調を施して出力するN個の互いに同様に構成された第1中継器本体部 R_{B11} 乃至 R_{B1N} が設けられている。第1中継器本体部 R_{B11} ・・・第M中継器本体部 R_{B1N} からそれぞれ出力されたN種類の波長 λ_1 乃至 λ_N のいずれかの波長の出力信号は、その波長および行先情報に従って分岐された光信号を伝送するための $N \times M$ 本のクロスコネクトファイバ F_{111} 乃至 F_{1NM} ・・・ $N \times M$ 本のクロスコネクトファイバ F_{N11} 乃至 F_{NNM} をそれぞれ介して合波器 T_1 乃至 T_M と接続されている。これにより、第1中継器本体部 R_{B11} ・・・第M中継器本体部 R_{B1N} の出力信号は、合波器 T_1 乃至 T_M を介して出力光ファイバ F_{B1} 乃至 F_{BM} のうちの所望の出力光ファイバへ所望の波長で伝送されるようになっている。他の中継器 R_M を構成する中継機本体部 R_{BM1} 乃至 R_{BMN} も、同様に、 $N \times M$ 本のクロスコネクトファイバ F_{111} 乃至 F_{1NM} ・・・ $N \times M$ 本のクロスコネクトファイバ F_{N11} 乃至 F_{NNM} をそれぞれ介して合波器 T_1 乃至 T_M と接続されている。なお、図2に示すように、同じ波長たとえば波長 λ_1 の信号を伝送するクロスコネクトファイバ F_{111} 、 F_{211} 、・・・ F_{N11} の出力端が結合され、ファイバ F_{B11} を介して合波器 T_1 に入力されている。波長 λ_N の信号を伝送するクロスコネクトファイバ F_{1N1} 、 F_{2N1} 、・・・ F_{NN1} の出力端が結合され、ファイバ F_{BN1} を介して合波器 T_1 に入力されている。

【0036】

上記光分波器 S_1 は、たとえば、回折格子やプリズムなどの角度分散素子、誘

電体多層膜の干渉フィルタなどの波長選択性反射／透過膜、或いは光導波路形分波回路などを利用して構成される光分波回路としてよく知られたものである。また、上記合波器 T_1 は、たとえば、マイクロレンズを主要な構成要素とする光方向性結合回路、複数本の並列配置された光ファイバの一部が局部的に結合された分布結合形光多重カップラ、四角管の内壁における多重反射或いは平面板内における混合を利用した集中結合形光多重カップラなどから構成される。

【0037】

また、上記第1中継器本体部 RB_1 は、たとえば図3に示すように構成される。図3において、光分波器 S_1 から光ファイバ F_{A11} を介して入力された光信号 L_{A11} は、光分波合波器として機能する第1光カップラ14、光遅延素子16、および波長変換装置（光スイッチング装置、光3端子装置）18が順次接続されている。上記第1光カップラ14は、光ファイバを主体とした分岐回路、マイクロレンズを主体とした分岐回路などから構成される。光ファイバを主体とした分岐回路では、たとえば一对の光ファイバの所定区間を並行した状態で或いはひねった状態で平行相互に密着させたり、透過および反射可能な反射膜を光ファイバの分岐点に設けたりすることにより構成される。マイクロレンズを主体とした分岐回路では、たとえば集束性ロッドレンズで平行ビーム化された光をくさび型屈折面或いは反射面を用いて分岐させるように構成される。この第1光カップラ14は、双方向性すなわち可逆性を備えているので、反対向きに光信号が伝播させられるときには、光信号を合波して第1光ファイバ12内を反対向きに伝送させる合波器として機能する。

【0038】

また、光遅延素子16は、上記光ファイバ F_{A11} 内を伝送される光信号を所定時間だけ遅延させるためのものであり、たとえば所定の長さの光ファイバを巻回して伝播距離を設けることよりその所定の伝播距離を伝播する伝播時間だけ遅延させるように構成される。この光遅延素子16の遅延時間は、波長変換装置18内において、そこで増幅される光信号とその光信号の伝送先を示す制御光とが同期するように予め実験的に求められる。

【0039】

上記第1光カプラ14により光ファイバFA11内の光信号から分岐された分岐光信号は、光ファイバ20とこれに接続された光電信号変換器22とを介して電子制御装置24へ供給される。電子制御装置24は、たとえばCPUがRAMの一時記憶機能を利用しつつROMに予め記憶されたプログラムに従って入力信号を処理する所謂マイクロコンピュータにより構成される。この電子制御装置24は、光ファイバ20を介して伝送された光信号に含まれている振幅変調で示されるコード信号すなわち行先情報に基づいて、その光信号をルーティングするためにその行先情報に対応する波長指令信号を制御光発生装置26へ供給する。たとえば、電子制御装置24は、光ファイバ20から入力される光信号LA11に含まれる振幅変調信号のみを抽出し、制御光発生装置26からその振幅変調で示される行先情報に対応する波長に応じた制御光LCを発生させるものであることから、アドレス信号以外の信号に対応する電磁波が信号処理によって発生しない。

【0040】

上記制御光発生装置26は、予め設定された複数種類の波長 λ_C の制御光LCを出力する制御光源を有し、前記電子制御装置24からの指令信号、すなわち光信号L1に含まれる分岐情報に応じて選択された波長指令信号に従って、その分岐情報に対応する波長 λ_C を有する制御光LCを前記波長変換装置（光3端子装置）18に対して供給する。制御光発生装置26は、転送先の出力光ファイバFB1乃至FBM内の波長バスの本数に対応する複数種類たとえばN種類の波長 λ_{C1} 、 λ_{C2} 、 λ_{C3} 、 \dots 、 λ_{CN} の制御光LCを択一的或いは選択的に発生させる。図4、図5、図6は、その制御光発生装置26の構成例をそれぞれ示している。

【0041】

図4において、制御光発生装置26は、制御光源に対応する相互に波長が異なる単一波長の光を出力する複数のレーザ光源26L1乃至26Lnと、それらレーザ光源26L1乃至26Lnの出力側にそれぞれ設けられてそれらから出される出力光をそれぞれスイッチングするための複数（N個）の光変調器26M1乃至26MNと、それら光変調器26M1乃至26MNを通過した光を合波し、制御光として出力する単一の光合波器26Sとから構成され、電子制御装置24からの分岐指令信号に従ってレーザ光源26L1乃至26Lnおよび光変調器26M1乃至26MNが

作動させられることにより、光信号 L_{A11} に含まれる振幅変調信号が示す行先情報（分岐情報）に応じて選択された波長 λ_C の制御光 L_C を出力する。上記複数のレーザ光源 26_{L1} 乃至 26_{LN} としては、たとえば半導体レーザダイオードが用いられる。図 5 において、制御光発生装置 26 は、制御光源に対応する相互に波長が異なる単一波長の光を出力する複数のレーザ光源 26_{L1} 乃至 26_{LN} とそれらレーザ光源 26_{L1} 乃至 26_{LN} から出力された光を 1 つの導波路に合波する単一の光合波器 26_S と、その光合波器 26_S の出力側に設けられてそれから出される出力光をスイッチングしてブランキング区間を遮断する単一の光変調器 26_M とから構成され、電子制御装置 24 からの分岐指令信号に従ってレーザ光源 26_{L1} 乃至 26_{LN} および光変調器 26_M が作動させられることにより、光信号 L_{A11} に含まれる分岐情報に応じて選択された波長 λ_C の制御光 L_C を出力する。図 6 において、制御光発生装置 26 は、出力光の波長を変更することが可能な波長可変レーザ光源 26_{LV} と、その波長可変レーザ光源 26_{LV} の出力側に設けられてそれから出される出力光をスイッチングしてブランキング区間を遮断する単一の光変調器 26_M とから構成され、電子制御装置 24 からの分岐指令信号に従って波長可変レーザ光源 26_{LV} および光変調器 26_M が作動させられることにより、光信号 L_1 に含まれる分岐情報に応じて選択された波長 λ_C の制御光 L_C を出力する。上記波長可変レーザ光源 26_{LV} は、たとえば分布ブラッグ反射型レーザ、マイクロマシン面発光レーザ、温度同調 DFB レーザなどが用いられる。分布ブラッグ反射型レーザでは、その光共振器を構成する一対のミラーのうちの一方を構成する DBR 層（ブラッグ反射層）に電流を注入し、プラズマ効果によってその部分の屈折率を変化させることにより光共振波長が可変とされる。マイクロマシン面発光レーザでは、マイクロマシンによって光共振器長が変化されることにより光共振波長が可変とされる。温度同調 DFB レーザでは、温度による屈折率変化により光共振波長が可変とされる。なお、上記光変調器 26_{M1} 乃至 26_{MN} 、 26_M は、たとえば駆動電流または駆動電圧が p-n 接合部に加えられることによって透過光をオンオフさせる半導体型光変調器や、ニオブ酸リチウムなど単結晶のような電気光学効果を有する物質に外部から駆動電圧を印加することにより透過光をオンオフさせる外部変調型光変調器などから構成される。

【0042】

上記波長変換装置18は、たとえば図7に示されるように、第1光ファイバ12を介して入力された光をクロスゲイン変調特性を利用して増幅および波長変換して出力する複数の光増幅素子に対応する一対の第1光増幅素子36および第2光増幅素子44を直列に備え、上記第1光ファイバ12を介して入力された光信号を増幅するとともに、その光信号に含まれる分岐情報に対応する制御光 L_C の入力に同期してその制御光 L_C と同じの波長の光 L_3 を出力するように構成されている。

【0043】

すなわち、図7において、レーザ光源30は、たとえば単一波長の半導体レーザから構成され、光信号 L_1 （第1入力光）の波長 λ_1 たとえば1555nmよりも長い波長 λ_2 たとえば1565nmのレーザ光（第2入力光） L_2 を一定の強度で連続的に出力する。第3光カップラ32は、第1光入力手段として機能するものであり、振幅変調されて第1光ファイバ12内を伝送された上記光信号 L_1 と連続光である上記レーザ光 L_2 とを重畳（合波）し、第1光サーキュレータ34を介して第1光増幅素子36へ入力させる。

【0044】

上記第1光増幅素子36は、たとえば図8に示す、半導体光増幅素子（SOA）から構成される。図8において、化合物半導体たとえばインジウム燐（InP）から構成される半導体基板36aの上に形成された光導波路36bは、その半導体基板36aの上にエピタキシャル成長させられたIII-V族混晶半導体の多層膜であり、たとえばホトリソグラフィを用いて所定幅のテープ状突起となるように形成されている。この光導波路36bは、半導体基板36aよりも屈折率が高い物質で構成されているので、光を厚み方向に閉じ込めつつ伝播させる機能を備えている。上記光導波路36b内の多層膜には、pn接合により構成された活性層36c、キャップ層などが含まれ、その上には上部電極36eが固着されている。この活性層36cは、半導体基板36aの下面に固着された図示しない電極と上記上部電極36eとの間に電圧が印加され且つ上記pn接合に電流が流されることによって電子・正孔対が形成され、その活性層36cを通過する光が誘

導放射作用によって増幅されるようになっている。上記活性層 36c は、多重量子井戸或いは量子ドットから構成されている。多重量子井戸である場合は、たとえば、InP 半導体基板 36a からエピタキシャル成長させられることにより格子整合された InGaAs (100 Å の厚み) と InGaAsP (100 Å の厚み) との 6 対により構成され、その活性層 36c の上には、組成 (屈折率) が段階的に変化させられたグリーン (GRIN) 構造のガイド層 (2000 Å) が順次設けられている。この活性層 36c のデバイス長 (光路長さ) は 600 μm であり、たとえば 250 mA の電流値によるエネルギー注入によって注入された電子が通過する光子による誘導放射によって価電子帯へ移動させらえるときに光エネルギーを放出して通過光を増幅させると考えられている。この 250 mA の電流値によるエネルギー注入により、たとえば波長 $\lambda_1 = 1555 \text{ nm}$ において 20 dB 程度の利得が得られる。

【0045】

上記第 1 光増幅素子 36 は、スパッタリングなどによって光を反射する端面処理が施された鏡などの反射手段 36d をその 1 端面に備えているため、その 1 端面とは反対側に位置する他端面を通して光入力或いは光出力が行われるようになっている。したがって、光信号 L_1 (第 1 入力光) およびそれよりも長い波長 λ_2 のレーザ光 (第 2 入力光) L_2 の合波光は、上記他端面を通して第 1 光増幅素子 36 内に入力されるとともに、上記反射手段 36d に反射された光は再びその他端面を通して出力される。この第 1 光増幅素子 36 の活性層 36c 内では、上記光信号 L_1 の入射によってその波長 λ_1 を中心とする周囲波長の自然光が発生し、その自然光は光信号 L_1 の強度変調に反比例して強度が増減する。この状態においてその自然光の波長範囲内にある波長 λ_2 のレーザ光 L_2 が通過させられると、その波長 λ_2 は、その自然光と同様の変化を受けつつ増強させられる。すなわち、光信号 L_1 の変調と同様ではあるが位相反転させられた変調を受けて増幅され、第 1 光増幅素子 36 から出力される。すなわち、第 1 光増幅素子 36 は、第 2 光増幅素子 44 とともにクロスゲイン変調特性すなわち相互利得変調特性を備えている。

【0046】

第1光サーキュレータ34は、上記第1光増幅素子36から出力された光を、第3光カプラ32へではなく、第1波長選択素子38へ導く。第1波長選択素子38は、前記第1光増幅素子36から出力された光のうちから第2波長 λ_2 である1565nmの光を抽出する。この第1波長選択素子38は、光フィルタ素子として機能するものであり、たとえば紫外線が局部的に照射されることにより、光ファイバの一部が長手方向において屈折率が周期的に変化させられたファイバークレーティングフィルタから構成されるものであって、第2波長 λ_2 を中心波長とし且つ半値幅がたとえば1乃至十数nmの光を選択して透過させるものである。なお、第1波長選択素子38は、屈折率が異なる多数組の層が積層されて成る多層膜フィルタ、フォトリソバンドギャップを有するフォトリソクリスタルのいずれかから構成されてもよい。

【0047】

第4光カプラ40は、第2光入力手段として機能するものであり、上記第1波長選択素子38により第1光増幅素子36から出力された光のうちから選択された第2波長 λ_2 の光と、第3波長 λ_3 のレーザ光である制御光 L_C とを重畳（合波）し、第2光サーキュレータ42を介して第1光増幅素子36と同様に構成された第2光増幅素子44へ入力させる。第1光増幅素子36において変調された第2波長 λ_2 は、この第2光増幅素子44において、その第2波長 λ_2 を中心とする自然光の波長範囲内の第3波長 λ_3 の制御光 L_C によってさらに変調を受け且つ増幅され、波長 λ_2 の光と制御光 L_C の波長とされた変調光（出力光信号） L_3 との混合光が出力される。第2光サーキュレータ42は、第2光増幅素子44から出力された上記混合光（波長 λ_2 の光および変調光 L_3 ）を、第4光カプラ40へではなく、後述の光分配装置50へ出力させる。

【0048】

上記第2光増幅素子44から出力された光に含まれる変調光 L_3 は、制御光 L_C の波長と同じ第3波長 λ_3 の光であるので、制御光 L_C の波長がたとえば λ_{C1} 、 λ_{C2} 、 λ_{C3} 、 \dots 、 λ_{CN} に変化させられると、第2光増幅素子44からの光 L_3 の波長もたとえば λ_{C1} 、 λ_{C2} 、 λ_{C3} 、 \dots 、 λ_{CN} に変化させられる。図9は、実験的に、上記光信号 L_1 （第1入力光）をその上段に示す波形とし、制御

光 L_C をその中段に示す波形としてそれぞれ入力させたときの光分配装置 50 の出力光 L_4 の波形を示している。制御光 L_C の強度変化は、下段に示す光分配装置 50 の出力光 L_4 の振幅変調に対応しており、その光分配装置 50 の出力光 L_4 は制御光 L_C に対して約 2 倍乃至 30 倍のゲイン（増幅率）を有する。また、出力光 L_4 の位相は上記光信号 L_1 （第 1 入力光）と同じであり、位相反転されていない。

【0049】

図 10 は、上記のようにして構成されることにより光 3 端子装置として機能する波長変換装置 18 において、活性層 36c が量子ドットから構成された場合の特性を示している。図 10 において、第 1 入力光である信号光 L_{A11} の周波数を示す横軸と出力光である出力光 L_4 の信号変調度 H （%）を示す縦軸とからなる二次元座標において、その出力光 L_4 の周波数特性が示されている。この図 10 によれば、40 GHz 程度までは信号変調度 H の低下がそれ程見られなかった。上記信号変調度 H はたとえば次式(1)により表される。但し、 I_{\max} は光信号の最大値、 I_{\min} は光信号の最小値である。

【0050】

$$H = 100 \times (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min}) \cdots (1)$$

【0051】

図 3 に戻って、上記波長変換装置 18 からの変調光 L_3 は、その波長すなわち制御光 L_C の波長 λ_C 毎に光分配装置 50 によって複数の導波路に対応するように予め定められたクロスコネクファイバ F_{111} 乃至 F_{11M} 、 F_{121} 乃至 F_{12M} 、 \cdots F_{1N1} 乃至 F_{1NM} へそれぞれ選択的に分配される。また、それらと異なる波長 λ_2 の光は分岐光ファイバ F_{B0} に分配される。たとえば、変調光 L_3 が単色である場合にはクロスコネクファイバ F_{111} 乃至 F_{11M} 、 F_{121} 乃至 F_{12M} 、 \cdots F_{1N1} 乃至 F_{1NM} のうちの 1 つの群へ択一的に分配されるが、2 種類の混合色である場合にはクロスコネクファイバ F_{111} 乃至 F_{11M} 、 F_{121} 乃至 F_{12M} 、 \cdots F_{1N1} 乃至 F_{1NM} のうちのいずれか 2 つの群へ分配される。上記光分配装置 50 は、たとえば図 11 に示すように、入力ポート 50a に接続された第 1 スラブ導波路 50b と、複数の出力ポート 50c に接続された第 2 スラブ導

波路 50d と、それら第 1 スラブ導波路 50b および第 2 スラブ導波路 50d の間に設けられた長さの異なる複数のアレー導波路 50e と、複数の出力ポート 50c にそれぞれ接続されたクロスコネクファイバ F_{111} 乃至 F_{11M} 、 F_{121} 乃至 F_{12M} 、 \dots F_{1N1} 乃至 F_{1NM} とを備え、その入力ポート 50a に入力された波長変換装置 18 からの変調 L_3 (入力光) をその波長毎に複数の出力ポート 50c のいずれかすなわちクロスコネクファイバ F_{111} 乃至 F_{11M} 、 F_{121} 乃至 F_{12M} 、 \dots F_{1N1} 乃至 F_{1NM} のいずれかへ分配するアレー導波路格子型光分波器から構成されている。なお、上記光分配装置 50 には、クロスコネクファイバ F_{111} 乃至 F_{11M} 、 F_{121} 乃至 F_{12M} 、 \dots F_{1N1} 乃至 F_{1NM} の端面に分岐光を集光させるための集光レンズなどの光学系が必要に応じて備えられる。本実施例では、前記制御光発生装置 26、光 3 端子装置 18、および光分配装置 50 が、光信号中継器本体部 RB_1 の主要部を構成している。

【0052】

図 12 は、入力光ファイバ FA_1 を介して伝送され且つ分波器 S_1 により分離された波長 λ_1 の光信号 LA_{11} の概念的構成を示す図であり、図 13 は、その信号光 LA_{11} の振幅変調が付与された波形、およびそれに振幅変調を付与する工程を説明する図である。図 12 において、光信号 LA_{11} は、たとえばパケットと称される一連の信号であって、その先頭部或いは先端部分には、パケットのタイトル、日付、文書名、頁番号などのヘッダー情報を付与するヘッダー部 H、送信元や送信先の IP アドレス、ソースルーティングのようなルート情報、データリンク層のコネクション情報などなどの行先情報を示す信号を付与するラベル部 (タグ部) LA が設けられている。光信号 LA_{11} は、図 13 に示すように、振幅変調が施されることによりヘッダー部 H やラベル部 LA のうちの少なくとも上記行先情報が付与されている。この振幅変調は、たとえば図 7 に示す波長変換装置 18 や後述の図 16 に示すような振幅変調器を用いて、図 13 の上段部に示す主信号に第 2 段部に示す変調信号が重畳されることによって行われたものである。

【0053】

図 14 は、以上のように構成された本実施例の光中継器 10 の作動を、たとえば図 3 に示す第 1 中継器本体部 RB_{11} を代表させて説明するタイムチャートであ

る。第1中継器本体部RB₁₁において、図14の上段部に示す光信号L_{A11}が光遅延素子16を介して波長変換装置18へ入力される（入力工程）一方で、第1光カップラ14によりその光信号L_{A11}の一部が光電信号変換器22により電気信号に変換されて電子制御装置24へ供給され、その電子制御装置24により抽出された図14の第2段部に示す変調パルス信号（行先情報）が制御光発生装置26へ供給され、その制御光発生装置26からはその変調パルス信号が示す行先情報に従って決定された波長 λ_C の制御光L_Cが図14の第3段部に示すように発生させられ、その発生に同期して波長変換装置18に入力されている光信号L_{A11}が波長変換装置18において制御光L_Cの波長 λ_C に変換され出力される（波長変換工程）。上記光遅延素子16により、光電信号変換器22による光電変換後の電子制御装置24の演算動作時間などに対応した時間だけ光信号L_{A11}が遅延させられることにより上記の同期が行われる。たとえば光信号L_{A11}に含まれる振幅変調パルスP₁が示す行先情報が波長 λ_1 の波長バスである場合は、波長 λ_1 の制御光L_Cが発生されて光信号L_{A11}が図14の下から2段目に示すように波長 λ_1 に変換されて波長変換装置18から出力される。また、光信号L_{A11}に含まれる振幅変調パルスP₁が示す行先情報が波長 λ_2 の波長バスである場合は、波長 λ_2 の制御光L_Cが発生されて光信号L_{A11}が図14の下段部に示すように波長 λ_2 に変換されて波長変換装置18から出力され、光分配装置50によりその波長に従って分配される（光分配工程）。ここで、入力光である光信号L_{A11}は第1光増幅素子36の出力が飽和する利得に設定されていることから、第1光増幅素子36から第1波長選択素子38を通して出力されて第2光増幅素子44へ入力される光信号は一定の大きさとされるので、その第2光増幅素子44から出力されて光分配装置50へ入力される波長変換後の光信号は振幅一定となるので、振幅変調が容易となる。本実施例の光中継器10の波長変換装置18では、入力光である光信号L_{A11}の信号と出力光L₃ 或いはL₄の信号との間で位相反転がなく、その光信号L_{A11}の波長は、第1光増幅素子36の利得範囲内であればどの波長が選択されてもよく自由度が高い利点がある。

【0054】

図15は、前記光中継器10の他の作動すなわち波長変換と同時にラベリング

して出力する作動を、たとえば図 3 に示す第 1 中継器本体部 RB_{11} を代表させて説明するタイムチャートである。第 1 中継器本体部 RB_{11} において、図 15 の上段部に示す光信号 L_{A11} が光遅延素子 16 を介して波長変換装置 18 へ入力される一方で、第 1 光カプラ 14 によりその光信号 L_{A11} の一部が光電信号変換器 22 により電気信号に変換されて電子制御装置 24 へ供給され、その電子制御装置 24 により抽出された図 15 の第 2 段部に示す変調パルス信号（行先情報）が制御光発生装置 26 へ供給される。制御光発生装置 26 では、その変調パルス信号が示す行先情報に従って決定された波長 λ_C の制御光 L_C が発生させられて、その発生に同期して波長変換装置 18 に入力されている光信号 L_{A11} が制御光 L_C の波長 λ_C に変換されて出力される。このときの変調パルス信号には、再付与するための行先情報が含まれているので、電子制御装置 24 はその行先情報を示すパルス信号を含むように図 15 の第 3 段部に示す振幅変調された制御光 L_C が発生させられる。たとえば光信号 L_{A11} に含まれる振幅変調パルス P_1 が示す行先情報が波長 λ_1 の波長バスである場合は、波長 λ_1 の制御光 L_C が発生されて光信号 L_{A11} が図 15 の下から 2 段目に示すように波長 λ_1 に変換されて波長変換装置 18 から出力される。また、光信号 L_{A11} に含まれる振幅変調パルス P_1 が示す行先情報が波長 λ_2 の波長バスである場合は、波長 λ_2 の制御光 L_C が発生されて光信号 L_{A11} が図 15 の下段部に示すように波長 λ_2 に変換されて波長変換装置 18 から出力される。

【0055】

上述のように、本実施例によれば、行先情報としてその一連の光信号 L_{A11} に振幅変調信号が付与され、その光信号 L_{A11} は振幅変調信号が示す行先へ転送される。このため、相互利得変調型の波長変換装置 18 に振幅変調された一連の光信号が入力される場合には、その光信号 L_{A11} の振幅変調が示す行先情報に対応した波長の制御光 L_C がその相互利得変調型の波長変換装置 18 に供給されると、その制御光 L_C と同じ波長の出力光が出力されるので、たとえば光分配装置 50 によりその出力光がその波長に応じた伝送路へ分配されることによってルーティングが行われるので、高速かつ小型のルーティング装置すなわち光信号転送装置或いは光信号中継装置 10 を構成することが可能となる。

【0056】

また、本実施例によれば、上記一連の光信号 L_{A11} に付与された振幅変調は、90%以下の変調度で施されたものであるので、光信号 L_{A11} が損なわれず、且つ行先情報が光信号に確実に付与される。また、上記一連の光信号 L_{A11} パケット信号であり、前記行先情報はそのパケット信号の先頭部に設けられたラベル情報或いはタグ情報であるので、そのラベル部 L_A 或いはタグ部において、振幅変調により情報ラベル情報或いはタグ情報が付与される。

【0057】

また、本実施例によれば、行先情報として振幅変調が施された一連の光信号 L_{A11} を相互利得変調型の波長変換装置 18 へ入力させる入力工程と、(b) その光信号 L_{A11} とは異なり且つ振幅変調信号に対応する波長の制御光 L_C を上記相互利得変調型の波長変換装置 18 へ供給し、その相互利得変調型の波長変換装置 18 からその制御光 L_C の波長の光信号を出力させる波長変換工程と、(c) 相互利得変調型の波長変換装置 18 から出力された光信号を光分配装置 50 に入力させ、その光信号をその波長に応じて光分配装置 50 に接続された複数の光伝送路へ分配する光分配工程とが、含まれるので、光信号 L_{A11} はその振幅変調信号が示す行先情報に応じた波長で光分配装置 50 に接続された複数の光伝送路へ分配される。

【0058】

また、本実施例によれば、上記波長変換工程は、相互利得変調型の波長変換装置 18 から出力される光信号 L_{A11} に制御光 L_C を用いて振幅変調を施すことにより、その光信号 L_{A11} に新たな行先情報を再付与するものであることから、信号光中継（転送）装置 10 内において適宜転送先を再付与できるので、たとえばリンクの状態、ノードの状態、ロタフィック状態に応じて転送ルートを決める動的ルーティングが可能となる。

【0059】

また、本実施例の光信号中継装置 10 によれば、行先情報として振幅変調信号が付与された一連の光信号 L_{A11} が伝送されて来ると、制御光発生装置 26 により、その一連の光信号 L_{A11} の振幅変調信号からその振幅変調信号が示す行先に

対応し且つその光信号 L_{A11} とは異なる波長の制御光 L_C が発生させられ、相互利得変調型の波長変換装置 18 により、その一連の光信号 L_{A11} がその制御光 L_C の波長の光信号に変換され、光分配装置 50 により、その相互利得変調型波長変換装置 18 から出力された光信号がその波長に応じて複数の光伝送路へ分配されるので、高速かつ小型のルーティング装置すなわち光信号転送装置或いは光信号中継装置 10 が提供可能となる。

【0060】

また、本実施例では、光信号 L_{A11} に含まれる振幅変調信号に応じて、制御光発生装置 26 からその振幅変調信号が示す行先情報に応じた波長の制御光 L_C を発生させる電子制御装置 24 を備えたものであるので、波長変換機能とスイッチング機能を有する相互利得変調型波長変換装置 18 が行先情報に対応した波長の光信号を出力して光分配装置 50 による分配を可能とするので、高速かつ小型のルーティング装置すなわち光信号転送装置或いは光信号中継装置 10 が得られる。

【0061】

また、本実施例では、(a) 光ファイバ 12 内を伝播する光信号 L_{A11} を分岐させて電子制御装置 24 へ供給するための第 1 光カプラ（光分波器）14 と、(b) その第 1 光カプラ 14 により分岐された光信号を電気信号に変換して電子制御装置 24 へ供給する光電信号変換器 22 と、(c) その光ファイバ 12 においてその第 1 光カプラ 14 よりも下流側に設けられ、その第 1 光ファイバ 12 から光 3 端子装置 18 に入力させる光信号 L_1 を遅延させる光遅延素子 16 とが設けられ、上記電子制御装置 24 は上記光信号 L_{A11} に含まれる振幅変調信号を抽出して、その振幅変調信号が示す行先情報に対応する波長の制御光 L_C を制御光発生装置 26 から発生させるものであるので、波長変換機能とスイッチング機能を有する相互利得変調型波長変換装置 18 が行先情報に対応した波長の光信号を出力して光分配装置 50 による分配を可能とするので、高速かつ小型のルーティング装置すなわち光信号転送装置或いは光信号中継装置が可能となる。また、光信号 L_{A11} の一部が第 1 光カプラ 14 から分岐されて電子制御装置 24 へ供給される一方で、その光信号 L_{A11} の他の一部が光遅延素子 16 により遅延させられて波長変

換装置 18 へ供給されるので、電子制御装置 24 における電子信号処理に用いられる遅れ時間にもかかわらず、制御光発生装置 26 から光 3 端子装置 18 へ供給される制御光 L_C がその波長変換装置 18 における光信号 L_1 と好適に同期させられる。

【0062】

また、本実施例では、相互利得変調型の波長変換装置 18 は、(a) 入力された光をクロスゲイン変調特性を利用して増幅および波長変換して出力するための第 1 光増幅素子 36 および第 2 光増幅素子 44 と、(b) 光ファイバ 12 から入力された第 1 波長 λ_1 の信号光 L_{A11} と、その信号光 L_{A11} とは異なる波長 λ_2 の連続光であるレーザ光（第 2 入力光） L_2 とを合波して第 1 光増幅素子 36 に入力させる第 3 光カプラ（第 1 光合波器）32 と、(c) 第 1 光増幅素子 36 からの光から第 2 波長 λ_2 の光を選択する第 1 波長選択素子 38 と、(d) その第 1 波長選択素子 38 により選択された第 2 波長 λ_2 の光と第 3 波長 λ_3 の制御光 L_C とを合波して第 2 光増幅素子 44 へ入力させる第 4 光カプラ（第 2 光合波器）40 とを、含み、第 3 波長 λ_3 の出力光 L_3 は、制御光 L_C と同じ波長の光であって、第 1 波長 λ_1 の信号光 L_1 および／または第 3 波長 λ_3 の制御光 L_C の強度変化に応答して変調されるものであることから、信号光 L_1 とレーザ光（第 2 入力光） L_2 とが入力された第 1 光増幅素子 36 からの光から選択された第 2 波長 λ_2 の光と制御光 L_C とが第 2 光増幅素子 44 へ入力させられるとき、その第 2 光増幅素子 44 から出された光から選択された第 3 波長 λ_3 の変調光 L_3 或いは出力光 L_4 は、信号光 L_1 および／または制御光 L_C の強度変化に応答して変調された光であって、制御光 L_C に対する信号増幅率が少なくとも 2 以上の大きさの増幅信号となるので、光信号 L_1 の増幅処理を制御光 L_C を用いて直接行うことができる。

【0063】

また、本実施例では、第 1 光増幅素子 38 において、第 2 波長 λ_2 は第 1 波長 λ_1 の周囲光の波長域内の波長であり、第 2 光増幅素子 44 において、第 3 波長 λ_3 は、第 2 波長 λ_2 の光の周囲光の波長域内の波長であるので、第 1 光増幅素子 36 或いは第 2 増幅素子 44 からの出力光に含まれる第 2 波長 λ_2 或いは第

3 波長 λ_3 の信号が好適に増幅される。

【0064】

また、本実施例では、第1光増幅素子36および第2光増幅素子44は、pn接合から構成される活性層を備えた半導体光増幅素子から構成されるので、光3端子装置18が小型化されるとともに、その信号増幅率が一層高められる。

【0065】

また、本実施例では、第1光増幅素子36や第2光増幅素子44を構成する半導体光増幅素子の活性層36cは、量子井戸、歪み超格子、または量子ドットから構成されたものであることから、波長変換装置18の高速応答が可能となる。特に量子ドットを用いた場合には100GHz以上の応答速度が得られる。また、活性層36cとして歪み超格子を用いると偏波依存性が小さくなる。

【0066】

また、本実施例では、第1光増幅素子36や第2光増幅素子44を構成する半導体光増幅素子は、活性層36cを通過した光を反射するための反射手段36dをその一端面に備え、他端面を通して入力光が入力され且つ出力光が取り出されるものであることから、1端面に備えられた反射手段によって活性層における通過路が実質的に長くされるので、光3端子装置18の信号増幅率が一層高められる。また、フィードバック効果によって、出力信号の変調度が一層高められる。

【0067】

また、本実施例では、第1光増幅素子36や第2光増幅素子44を構成する半導体光増幅素子の他端面を通してその半導体光増幅素子内に入力光を入力させ、その他端面を通してその半導体光増幅素子内から出力される光をその入力光とは異なる光路へ導く光サーキュレータ34、42のような方向性結合素子が設けられたものであるので、光3端子装置18において、半導体光増幅素子の他端面から出た光はその他端面へ入力させる光を導く導波路に入ることがなく、専ら他の出力用導波路に導かれる。

【0068】

また、本実施例では、第1波長選択素子38は、導波路または光ファイバ内の光伝播方向において屈折率が周期的に変化させられたグレーティングフィルタ、

屈折率が異なる多数組の層が積層されて成る多層膜フィルタ、フォトニックバンドギャップを有するフォトニッククリスタルのいずれかから構成されることから、第1光増幅素子36からの光から第2波長 λ_2 の光或いは第3波長 λ_3 の光が好適に抽出される。

【0069】

また、本実施例では、光分配装置50は、入力ポート50aに接続された第1スラブ導波路50bと、複数の出力ポート50cに接続された第2スラブ導波路50dと、それら第1スラブ導波路50bおよび第2スラブ導波路50dの間に設けられた長さの異なる複数のアレー導波路50eと、複数の出力ポート50cに接続された分岐光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} とを備え、その入力ポート50aに入力された光3端子装置18からの出力光 L_3 （入力光）をその波長毎に複数の出力ポート50cのいずれかすなわち分岐光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} のいずれかへ分配するように構成されているので、波長変換装置18から出力された制御光 L_C と同じ波長の変調光 L_3 はその波長毎に複数の光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} のうちのいずれかへ選択的に好適に分配される。

【0070】

また、本実施例の光信号中継装置10によれば、予め設定された複数種類の波長の制御光を出力する複数の単一波長のレーザ光源（制御光源）または波長可変レーザ光源を有し、前記光信号 L_1 に含まれる分岐情報に応じて選択された波長の制御光 L_C を波長変換装置18に対して供給する制御光発生装置26が備えられているので、複数の分岐光導波路に対応する光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} のうちの上記制御光 L_C の波長に対応して予め設定された所定の光ファイバへ光信号 L_1 が選択的に分配される。

【0071】

また、本実施例の制御光発生装置26は、複数種類のレーザ光源26 L_1 乃至26 L_n または波長可変レーザ光源26 L_V から出力される制御光をスイッチングするための光変調器26 M を備えたものである所以、制御光発生装置26から出力された相互に異なる波長の制御光 L_C の立上がりおよび立下がり急峻とされ、そ

の応答性が高められる。

【0072】

また、本実施例では、第1光ファイバ12から入力される光信号 L_1 に含まれる分岐情報に応じて、制御光発生装置26からその分岐情報に応じた波長を有する制御光 L_C を発生させる電子制御装置24を備えたものである。光3端子装置18から出力される変調光 L_3 の波長がその光信号 L_{A11} に含まれる行先（分岐）情報に応じて切り換えられて、その波長毎に複数の光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} のうちのいずれかへ選択的に分配される。

【0073】

また、本実施例では、電子制御装置24は、光ファイバ12から入力される光信号 L_{A11} に含まれる行先情報（アドレス信号）のみを抽出し、前記制御光発生装置26からそのアドレス信号に対応する波長の制御光 L_C を発生させるものであることから、アドレス信号以外の信号に対応する電磁波が信号処理によって発生しないので、光信号 L_1 の秘匿性が確保される利点がある。

【0074】

次に、本発明の他の実施例を説明する。なお、以下の説明において前述の実施例と共通する部分には同一の符号を付して説明を省略する。

【0075】

図16は波長変換装置18の他の実施例の構成例を示している。本実施例の波長変換装置18は、前述の図8に示す第1光増幅素子36と同様に構成されることによりクロスゲイン変調特性すなわち相互利得変調特性を備えた単一の半導体光増幅素子（SOA）60と、その半導体光増幅素子60に対して入射させる波長 λ_S の光信号 L_{A11} と波長 λ_1 または λ_2 の制御光 L_C とを合波する光カップラ62とから構成されている。この波長変換装置18においては、波長 λ_S の入力光信号 L_{A11} は制御光 L_C の波長 λ_1 または λ_2 に変換されて出力され、その出力光信号 L_3 は入力光信号 L_{A11} と位相が反転させられる。本実施例においては、たとえば波長 λ_1 または λ_2 の制御光 L_C の強度変化が上記出力光信号 L_3 の強度に影響しないように、上記制御光 L_C の強度は上記半導体光増幅素子60の利得飽和強度よりも小さく設定されている。すなわち、波長 λ_S の入力光信号 L

A11 の強度（利得）は、相互利得変調を可能とするために上記半導体光増幅素子 60 の利得飽和強度よりも大きい値に設定されている。本実施例によれば、図 17 の上段に示す波長 λ_S の入力光信号 L_{A11} と、図 17 の 2 段目または 3 段目に示す波長 λ_1 または λ_2 の制御光 L_C とが半導体光増幅素子 60 に入力されると、図 17 の下から 2 段目または下段に示す波長 λ_1 または λ_2 の出力光信号 L_3 が光分配装置 50 へ出力される。

【0076】

本実施例によれば、相互利得変調型の波長変換装置 18 は、入力された光をクロスゲイン変調特性を利用して増幅および波長変換して出力する単一の半導体光増幅素子 60 を備えて構成されるので、光信号 L_{A11} に含まれる行先情報に対応する波長 λ_1 または λ_2 制御光 L_C が入力されると、その制御光 L_C と同じ波長の光信号を出力するものであり、上記相互利得変調型波長変換装置 18 が p n 接合から構成される活性層を備えた単一の半導体光増幅素子 60 により構成されるので、相互利得変調型波長変換装置 18 が小型化される。なお、図 16 に示す波長変換装置 18 は、図 17 に示すように、波長 λ_S の光信号 L_{A11} に波長 λ_1 または λ_2 の制御光 L_C の信号パルスを振幅変調により付与することができるので、振幅変調器としても用いることができる。

【0077】

また、本実施例の波長変換装置 18 では、波長 λ_S の入力光信号 L_{A11} の強度（利得）は、相互利得変調を可能とするために上記半導体光増幅素子 60 の利得飽和強度よりも大きい値に設定されたものであり、制御光発生装置 26 は、光増幅素子 60 から出力される信号に振幅変調を施すためにその光増幅素子 60 に入力される制御光 L_C の強度を、その光増幅素子 60 の利得が飽和する強度よりも小さくして発生させるものであることから、光増幅素子 60 から出力される他の波長の光信号に影響しない利点がある。

【0078】

図 18 は、前述の図 3 および図 7 に示す第 1 中継器本体部 RB_{11} が全光学的に構成された実施例を示している。図 18 において、波長変換装置 18 の第 3 光カプラ 32 に入力される入力光信号 L_{A11} の一部が光カプラ（光分波／合波素子或

いは光合波器／光合波器) 64 によって分岐され、次いで、光カップラ 66 によって連続光である所定波長たとえば波長 λ_1 乃至 λ_N のいずれかの波長の連続光であるレーザ光 L と合波されて、前述の図 8 に示す第 1 光増幅素子 36 と同様に構成されることによりクロスゲイン変調特性すなわち相互利得変調特性を備えた半導体光増幅素子 (SOA) 68 に入力される。上記連続光であるレーザ光 L は、たとえば図 4 或いは図 5 に示すレーザ光源 26_{L1} 乃至 26_{LN} および光合波器 26_S、図 6 に示す可変レーザ光源 26_{LV} と同様に構成されたレーザ光源 70 が用いられる。この半導体光増幅素子 68 は、前記第 1 半導体光増幅素子 36 や第 2 半導体光増幅素子 44 に比較して相対的に応答速度が遅くなる特性となるように構成される。たとえば、第 1 半導体光増幅素子 36 や第 2 半導体光増幅素子 44 が量子井戸または量子ドットから構成された活性層 36c を備える場合には、上記半導体光増幅素子 68 はバルクから構成された活性層 36c を備えるように構成される。この半導体光増幅素子 68 は、その利得および／または偏波状態が調整設定されることにより、高速のスイッチングにตอบสนองしないようにされている。これにより、図 19 の上段に示される入力光信号 L_{A11} が入力されると、その入力光信号 L_{A11} の振幅変調信号に対応する波形の制御光信号 L_C (図 19 の第 2 段目または第 3 段目) が上記半導体光増幅素子 68 から第 4 光カップラ (第 2 光合波器) 40 へ入力されるので、図 19 の下から 2 段目または下段に示すように振幅変調された波長 λ_1 または λ_N の出力光信号 L₃ が光分配装置 50 へ出力される。この出力光信号 L₃ の振幅変調信号は、たとえば分岐情報を示している。本実施例では、上記光カップラ 64、光カップラ 66、半導体光増幅素子 (SOA) 68 レーザ光源 70 は、波長変換すべき波長および行先 (分岐) 情報を付与する上記制御光 L_C を出力するための全光学式制御装置 72 を構成している。なお、この全光学式制御装置 72 は、図 16 に示すように単一の半導体光増幅素子 60 を備えた波長変換装置 18 にも適用される。

【0079】

本実施例によれば、上記光カップラ 64、光カップラ 66、半導体光増幅素子 68 によって生成される上記光信号 L_C は、前述の図 3 の制御光 L_C と同様に、振幅変調によって一連の出力光の先頭部に入力光信号 L_{A11} に含まれるものと同じ行

先情報をリアルタイムで付与するものであるもので、このようなスイッチング作動については前述の実施例の電子制御装置 24 が不要となって全光学的に構成される利点がある。

【0080】

また、本実施例では、光信号 L_{A11} に含まれる振幅変調信号に応じて、制御光発生装置 26 からその振幅変調信号が示す行先情報に応じた波長の制御光 L_C を発生させる全光学的制御装置を備えたものであるもので、入力光信号 L_{A11} に含まれる振幅変調信号が示す行先情報に応じた信号の制御光が発生するように制御されることから、波長変換機能とスイッチング機能を有する相互利得変調型波長変換装置 18 が行先情報に対応した波長の光信号を出力して光分配装置による分配を可能とするので、高速かつ小型のルーティング装置すなわち光信号転送装置或いは光信号中継装置が可能となる。光学的信号処理によって電磁波が発生しないので、光信号の秘匿性が確保される利点がある。

【0081】

図 20 は、上記図 18 の波長変換装置 18 の技術を利用して構成された、全光学的の光信号中継装置 80 を説明するための図 2 に相当する図である。光分波器 S_1 によって分波された複数の光のうち、波長 λ_1 の入力光信号 L_{A11} を代表させて説明すると、図 18 と同様に、波長変換装置 18 の第 3 光カップラ（第 1 光合波器）32 に入力される入力光信号 L_{A11} の一部が光カップラ 64 によって分岐され、次いで、光カップラ 66 によって連続光である所定波長たとえば波長 λ_2 乃至 λ_N のいずれかの波長の連続光であるレーザ光 L と合波されて、前述の図 8 に示す第 1 光増幅素子 36 と同様に構成されることによりクロスゲイン変調特性すなわち相互利得変調特性を備えた半導体光増幅素子（SOA）68 に入力される。上記連続光であるレーザ光 L が 光分波器 S_1 によって分波された他の波長 λ_2 乃至 λ_N のいずれかが用いられる点において図 18 の実施例と相違する。これにより、図 19 に示すように、その上段に示される入力光信号 L_{A11} が入力されると、その入力光信号 L_{A11} の振幅変調信号に対応する波形の光信号 L_C （図 19 の第 2 段目または第 3 段目）が上記半導体光増幅素子 68 から第 4 光カップラ（第 2 光合波器）40 へ入力されるので、図 19 の下から 2 段目または下段に示す波

長 λ_1 または λ_N の出力光信号 L_3 が光分配装置 50 へ出力される。本実施例によれば、一層全光学式に構成される利点がある。

【0082】

次に、本発明の他の実施例を説明する。なお、以下の説明において前述の実施例と共通する部分には同一の符号を付して説明を省略する。

【0083】

前述の実施例において、他の中継器本体部 RB_{MN} において入力光信号 L_{ANM} である光パケット信号を所定の波長に変換して所定のファイバ F_{BNM} へ出力する中継処理中に、入力光信号 L_{A11} である光パケット信号を中継処理する中継器本体部 RB_{11} からその所定のファイバ F_{BNM} へ同じ波長の光信号を重複的に出力させて光信号の重畳を発生させてしまうおそれがある。このような場合には、たとえば図3の実施例では、電子制御装置24は、先に中継処理をしている中継器本体部 RB_{MN} が光パケット信号の終端を確認する前に、入力光信号 L_{A11} である光パケット信号の先頭のヘッダー部Hに振幅変調信号により付されているヘッダ情報を検知した場合には、その光パケット信号に迂回を指示する情報を振幅変調により付与するように構成されている。たとえば、最終の行先情報は変更しないが、途中のアドレスを振幅変調により変更する。本実施例によれば、複数の光パケット信号が略同時に同じ伝送路である所定のファイバ F_{BNM} へ送信されようとするときの相互の衝突を回避することができる。

【0084】

図21は、他の中継器本体部 RB_{MN} において入力光信号 L_{ANM} である光パケット信号を所定の波長に変換して所定のファイバ F_{BNM} へ出力する中継処理中は、それに時期的に重複して着信した入力光信号 L_{A11} である光パケット信号を一時的に記憶し、先に上記所定の波長に変換している光パケット信号の中継処理が完了した後でその中継処理を可能とするようにした中継装置10の要部を示す図である。図21において、前記光分配装置50により分配された光パケット信号を一時的に記憶するために長さの異なる複数本の光ファイバが並列接続して成る複数の光信号記憶装置74と、その光信号記憶装置74から出力された光信号を入力側へ帰還させるための帰還用光ファイバ78と、帰還用光ファイバ78を介し

て入力側へ伝送された待機用波長 λ_{01} 乃至 λ_{03} のいずれかの光パケット信号を入力光信号 L_{A11} として第1カプラ14へ再び入力させるための光カプラ76とが備えられている。他の中継器本体部 R_{BMN} において入力光信号 L_{ANM} である光パケット信号を所定の波長に変換して所定のファイバ F_{BNM} へ出力する中継処理中に、光パケット信号の先頭のヘッダー部 H に振幅変調信号により付されているヘッダ情報にしたがって、本中継器本体部 R_{B11} が上記所定のファイバ F_{BNM} へ出力する行先情報を有する光パケット信号 L_{A11} を受けたと判定された場合は、電子制御装置24はその光パケット信号 L_{A11} は一時記憶させるべきものであると判定する。電子制御装置24は、上記他の中継器本体部 R_{BMN} の電子制御装置からの信号に応答して、上記光パケット信号 L_{A11} を予め設定された待機用波長 λ_{01} 乃至 λ_{03} のいずれかに変換するための制御信号 L_{C01} 乃至 L_{C03} を制御光発生装置26から出力させる。光分配装置50から出力された待機（一時記憶）用波長 λ_{01} 乃至 λ_{03} のいずれかの光信号は、その光分配装置50に接続された光信号記憶装置74のいずれかへ送られてそこで所定時間記憶された後、帰還用光ファイバ78を介して光カプラ76へ伝送され、そこから入力光信号 L_{A11} として第1カプラ14へ再び入力され、前述の中継処理が再び行われる。上記複数の光信号記憶装置74は、たとえば前述の光遅延素子16と同様に、それに記憶させる光パケット信号が必要とする記憶時間に対応する長さを備えるために、その記憶時間だけ伝播のために必要とする光学的長さの相互に異なる複数本の光ファイバをそれぞれ巻回してそれぞれ構成される。本実施例によれば、複数の光パケット信号が略同時に同じ伝送路である所定のファイバ F_{BNM} へ送信されようとするときの相互の衝突を回避することが可能となる。このような構成は、たとえば図16に示す単一の半導体光増幅素子60を備えた波長変換装置から成る中継器に対しても適用可能である。

【0085】

以上、本発明の一実施例を図面に基づいて説明したが、本発明はその他の態様においても適用される。

【0086】

たとえば、前述の実施例の第1光増幅素子36および／または第2光増幅素子

44は、たとえば石英系或いは弗化物系ガラスなどの光透過媒体である光ファイバ内に、たとえばエルビウム元素などの希土類元素がドーピングされることにより、3準位系または4準位系のエネルギー準位がその光透過媒体内に構成された光増幅素子から構成されてもよい。このような光増幅素子は、エルビウム元素およびアルミニウムがドーピングされることにより1700ppm程度の比較的高濃度のエルビウムイオン Er^{3+} および10000ppm程度のアルミニウムイオン Al^{3+} を含む20m程度の長さのガラス製光ファイバから構成されているので、エルビウムドーピングファイバアンプ(EDFA)とも称される。また、エルビウム元素を含むガラス製光ファイバに替えて、プラセオジウムが添加(ドーピング)された光ファイバが用いられてもよい。この場合においては、波長変換装置18は、1.3 μm 帯の波長で利用可能となる。このようにすれば、第1光増幅素子36および/または第2光増幅素子44が光ファイバから構成されるので、光を伝播させる光ファイバの途中に前記第1光増幅素子および/または第2光増幅素子が構成される利点がある。

【0087】

また、前述の図3の実施例において、電子制御装置24は、入力光信号 L_{A11} 乃至 L_{A1} 、 L_{A21} 乃至 L_{A2N} 、 \dots 、 L_{AM1} 乃至 L_{AMN} について、たとえば所望の波長を所望の伝送路へ転送するように、その処理時間帯を波長群や伝送路群毎などで相互に相違させるように波長変換装置18に選択的に波長変換処理を実行させる制御光 L_C を発生するように構成されてもよい。

【0088】

また、前述の波長変換装置18において、第3光カップラ32および第4光カップラ40、第1光増幅素子36および第2光増幅素子44、および第1波長選択素子38などの構成部品は、光ファイバにより連結されてもよいが、半導体基板またはガラス基板のような透光性物質製基板の上に形成された光導波路などにより結合されてもよい。

【0089】

また、前述の光分配装置50は、入力ポート50aに接続された第1スラブ導波路50bと、複数の出力ポート50cに接続された第2スラブ導波路50dと

、それら第1スラブ導波路50bおよび第2スラブ導波路50dの間に設けられた長さの異なる複数のアレー導波路50eと、複数の出力ポート50cに接続された分岐光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} とを備え、その入力ポート50aに入力された光3端子装置18からの出力光 L_3 （入力光）をその波長毎に複数の出力ポート50cのいずれかすなわち分岐光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} のいずれかへ分配するように構成されていたが、波長毎に異なる回折格子の回折角度を利用してその入力光である出力光 L_3 をアレイ状に配列された複数の分岐光ファイバ F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} 、 \dots 、 F_{Bn} へ選択的に分配する回折格子型光合成成分波器から構成されたり、或いはその回折格子に替えてプリズムが利用されたプリズム光合成成分波器から構成されてもよい。この場合には、光分配装置50は、波長毎に異なるプリズムの屈折角度を利用して入力光をアレイ状に配列された複数のアレー導波路へ選択的に分配するプリズム型光分配器から構成される。光分波器 S_1 乃至 S_M や合波器 T_1 乃至 T_M も同様である。

【0090】

また、前述の実施例の電子制御装置24に替えて、複数の光トライオードから成る演算装置およびレーザ光源などから構成される光演算制御装置が用いられてもよい。電子制御装置24に替わる全光学的装置が用いられることにより、光信号中継装置10の全体が光学素子によって構成される。

【0091】

また、前述の実施例では、光導波路として、第1光ファイバ12、第2光ファイバ20などが用いられていたが、光回路の一部に設けられた、二次元方向において光を導く二次元光導波路や三次元方向において光を導く三次元光導波路が用いられてもよい。

【0092】

また、前述の実施例では、図4、図5、図6に示される制御光発生装置26において、光変調器 26_{M1} 乃至 26_{Mn} 、 26_M が除去されても差し支えない。この場合、たとえば図4、図5の光変調器26では、レーザ光源 26_{L1} 乃至 26_{Ln} が選択的にオンオフ駆動されることにより、波長の異なる制御光 L_C が選択的に出力される。また、図6の光変調器26では、可変波長レーザ光源 26_{LV} のDBR

層に対する注入電流を段階的に変化させることにより、波長の異なる制御光 L_C が選択的に出力される。

【0093】

なお、上述したのはあくまでも本発明の一実施例であり、本発明はその主旨を逸脱しない範囲において種々変更が加えられ得るものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の一実施例の光信号中継装置の構成を説明する略図である。

【図2】

図1の実施例の光信号中継装置の一部を構成する複数の中継器の1つの構成例を説明するブロック図である。

【図3】

図2の中継器の構成を説明するブロック図である。

【図4】

図3の制御光発生装置の構成例を説明するブロック図である。

【図5】

図3の制御光発生装置の他の構成例を説明するブロック図である。

【図6】

図3の制御光発生装置の他の構成例を説明するブロック図である。

【図7】

図3の波長変換装置の構成を説明するブロック図である。

【図8】

図7の波長変換装置内に設けられる光増幅素子が半導体光増幅素子により構成された場合の外形状を示す斜視図である。

【図9】

図7の波長変換装置の作動を説明するタイムチャートであり、上段は入力光である信号光の波形を示し、中段は制御光の波形を示し、下段は出力光の波形を示している。

【図10】

図 7 の波長変換装置の周波数特性を示す図である。

【図 11】

図 7 の光分配装置の構成例を説明する図である。

【図 12】

図 1 の一連の入力光信号の構成例を説明する図である。

【図 13】

図 12 の一連の入力光信号を、それを構成する主信号と振幅変調信号とを用いて説明するタイムチャートである。

【図 14】

図 12 の一連の入力光信号について図 3 の中継器本体部の作動であって、行先情報を付与しない場合の作動を説明するタイムチャートである。

【図 15】

図 12 の一連の入力光信号について、図 3 の中継器本体部の作動であって、入力光信号とは異なる行先情報を付与する場合のを説明するタイムチャートである。

【図 16】

本発明の他の実施例における波長変換装置の構成を説明する図であって、図 7 に相当する図である。

【図 17】

図 16 の波長変換装置の作動を説明するタイムチャートである。

【図 18】

本発明の他の実施例における波長変換装置の構成を説明する図であって、図 7 に相当する図である。

【図 19】

図 18 の波長変換装置の作動を説明するタイムチャートである。

【図 20】

図 18 の実施例の波長変換装置を含む光信号中継器の構成を説明する図であって、図 2 に相当する図である。

【図 21】

本発明の他の実施例における光信号中継装置の要部すなわち中継器を説明する図であって、図3に相当する図である。

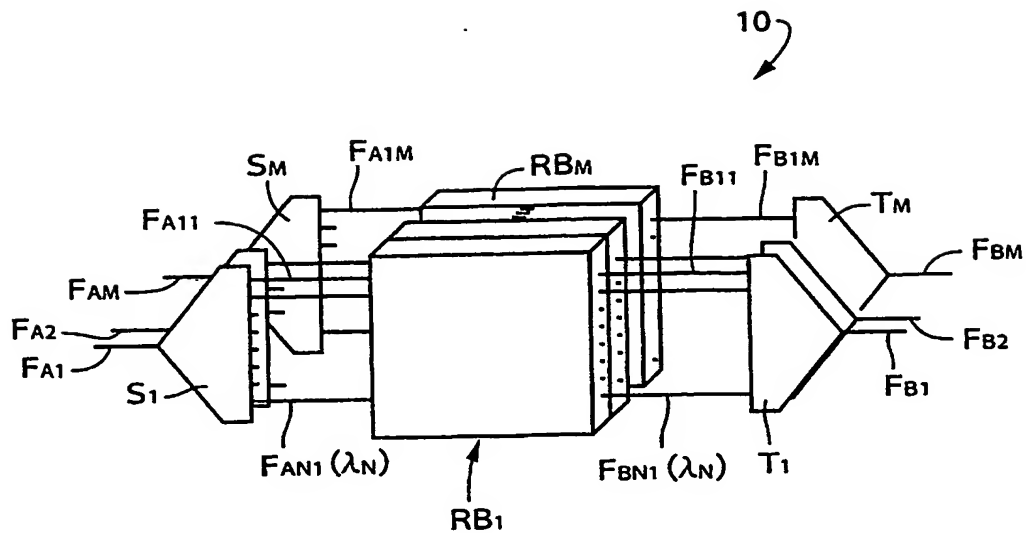
【符号の説明】

- 10：光信号中継装置
- 14：第1カプラ（光分波合波器）
- 16：光遅延素子
- 18：波長変換装置
- 22：光電信号変換器
- 24：電子制御装置
- 26：制御光発生装置
- 32：第1光合波器
- 34：光サーキュレータ
- 36：第1光増幅素子
- 38：第1波長選択素子
- 40：第2光合波器
- 44：第2光増幅素子
- 50：光分配装置
- 50b：第1スラブ導波路
- 50d：第2スラブ導波路
- 50e：アレー導波路
- 64、66：光カプラ（光分波合波器）

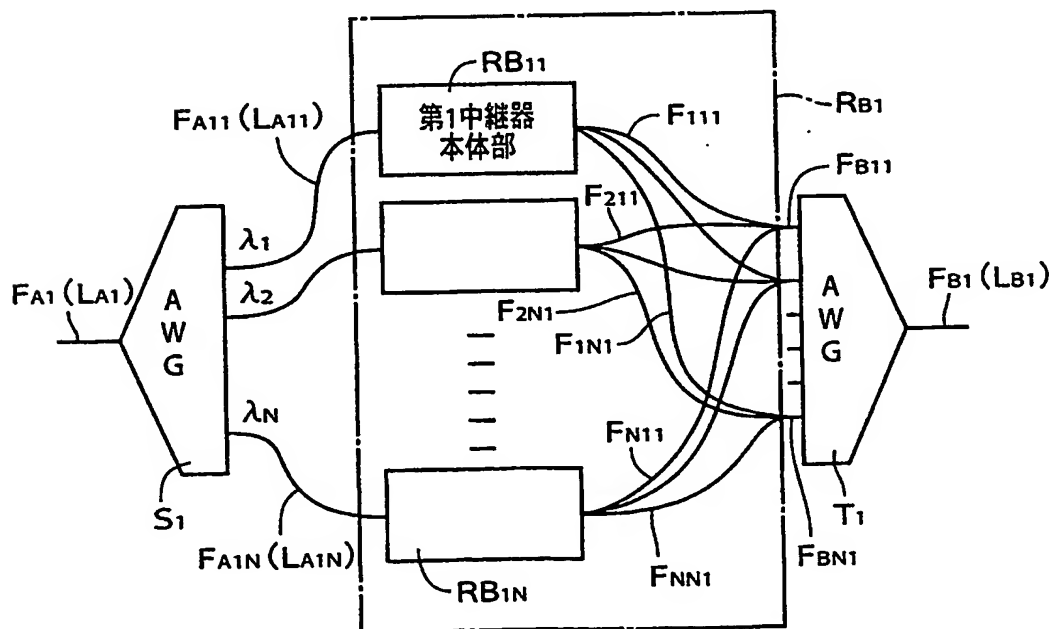
【書類名】

図面

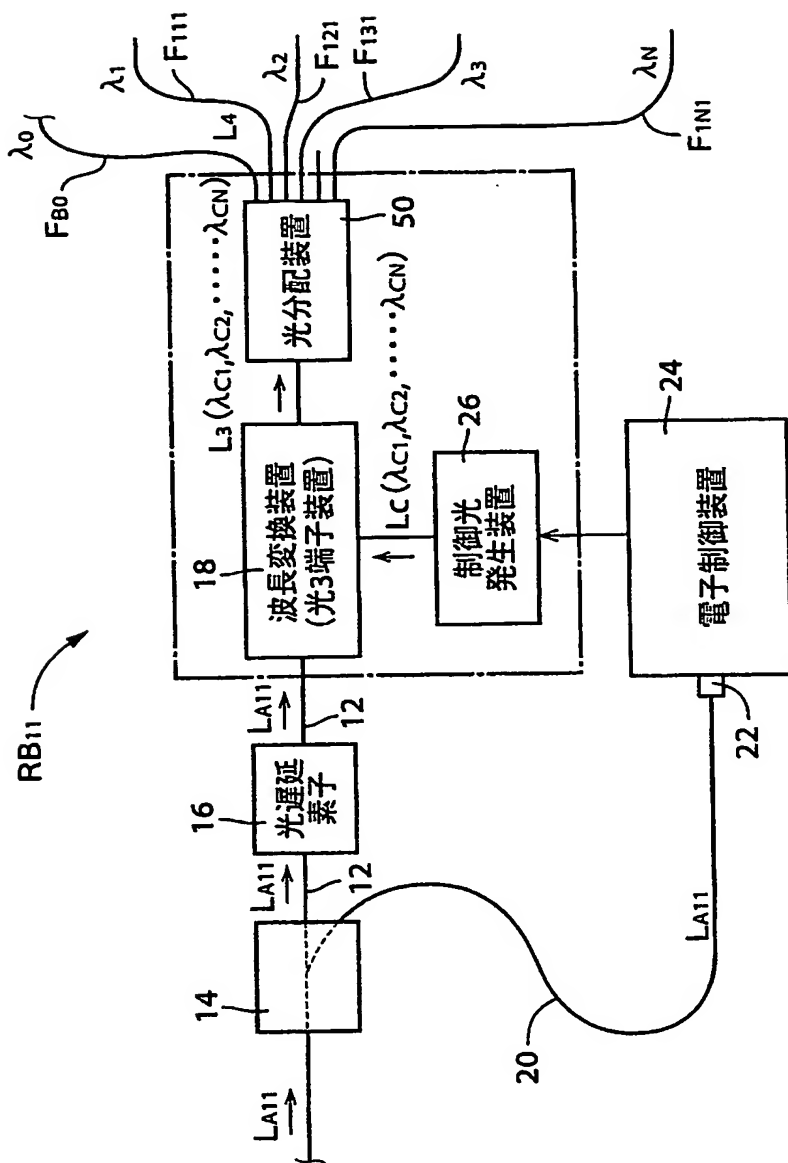
【図 1】



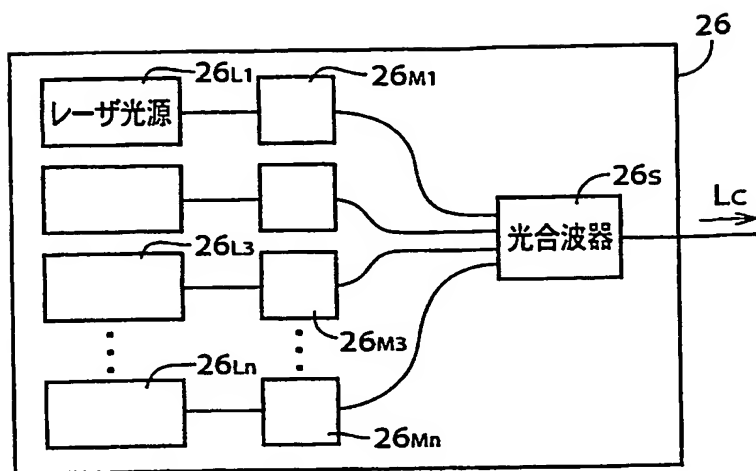
【図 2】



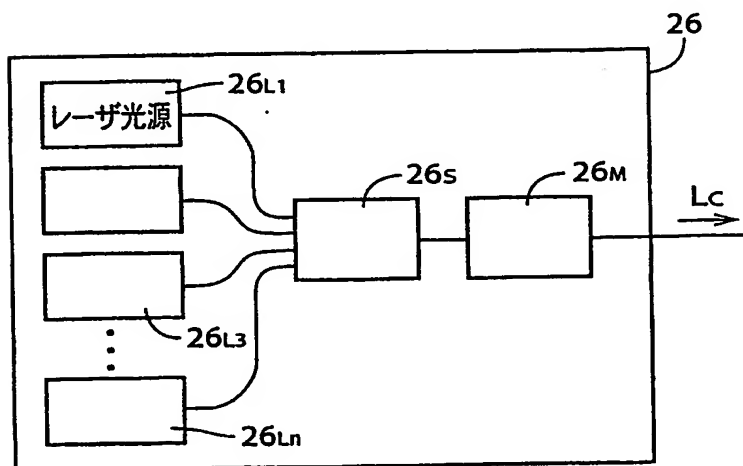
【図 3】



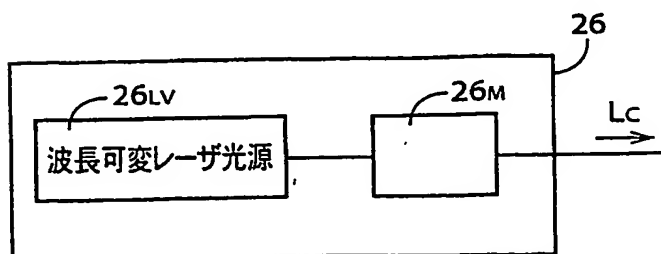
【図 4】



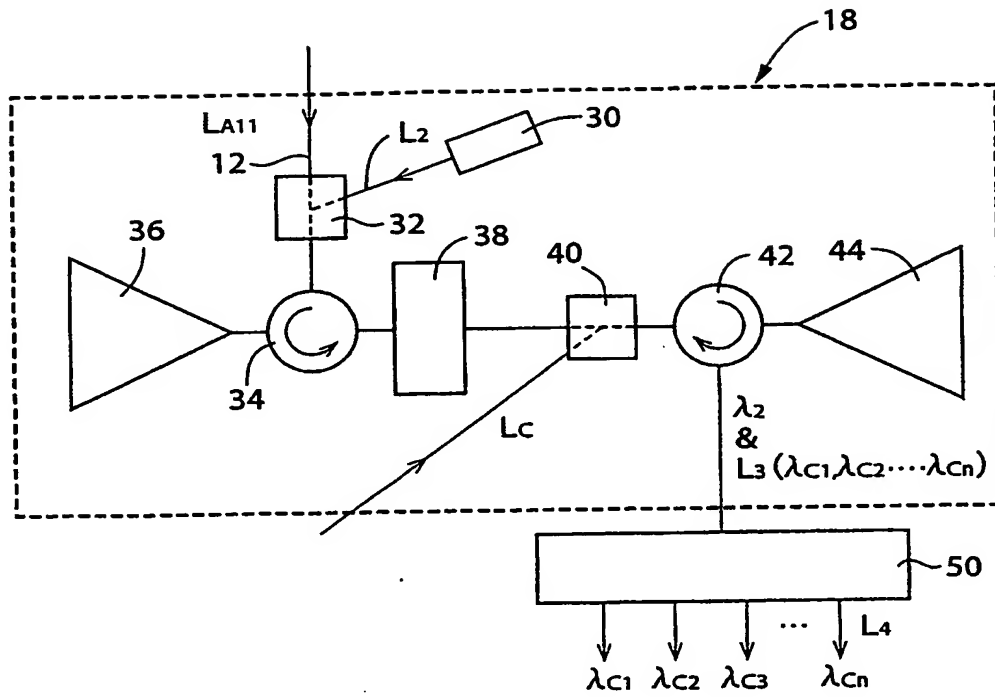
【図 5】



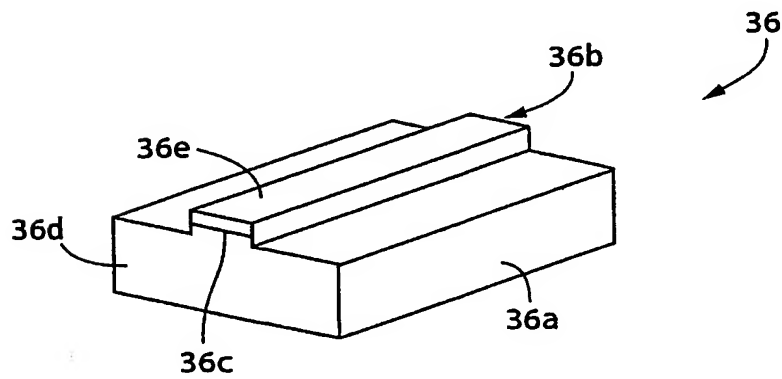
【図 6】



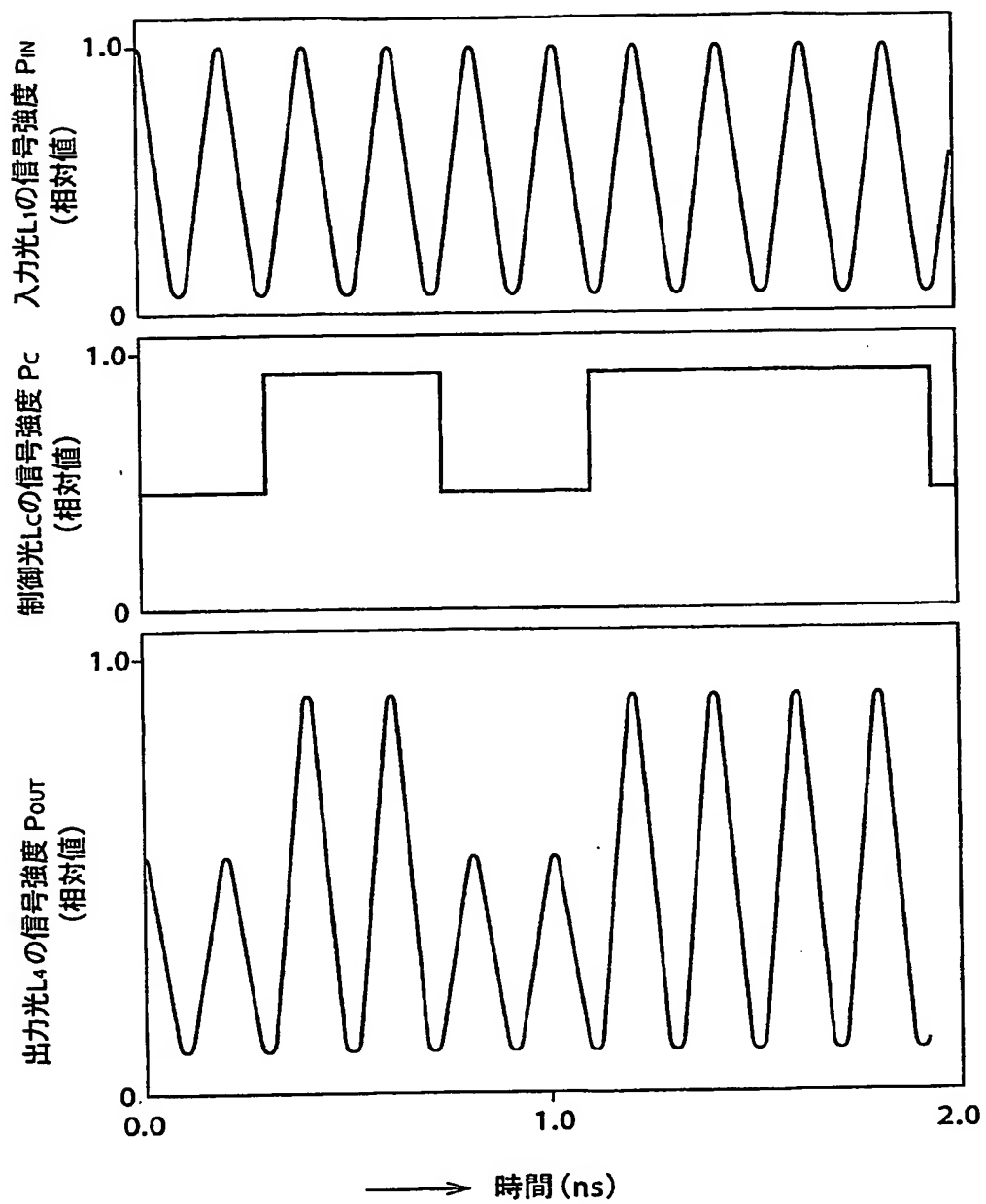
【図 7】



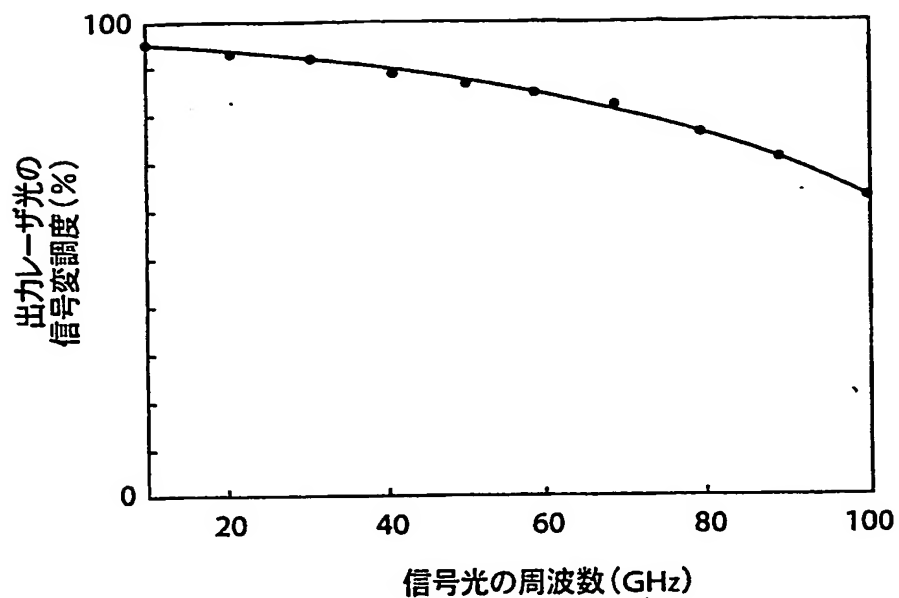
【図 8】



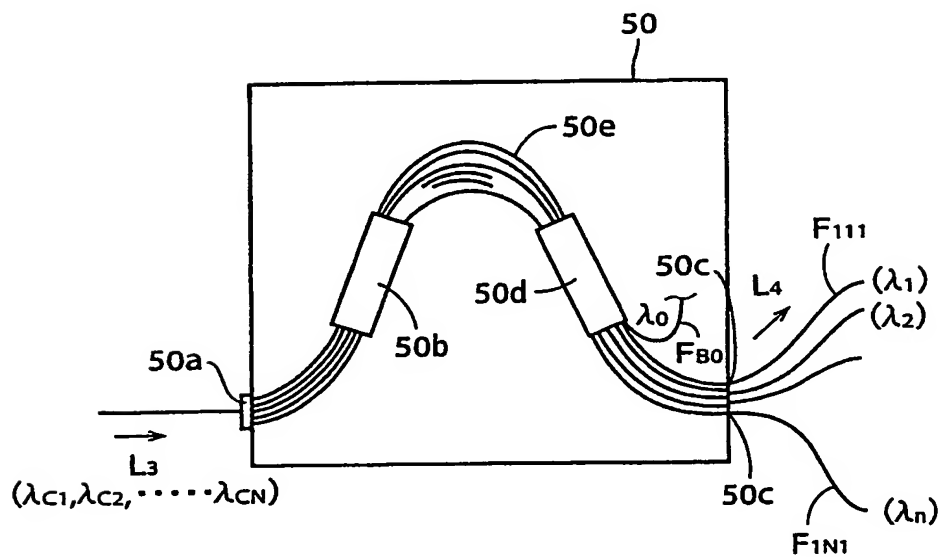
【図 9】



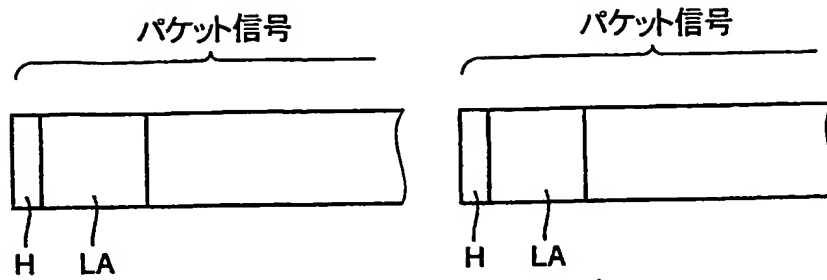
【図 10】



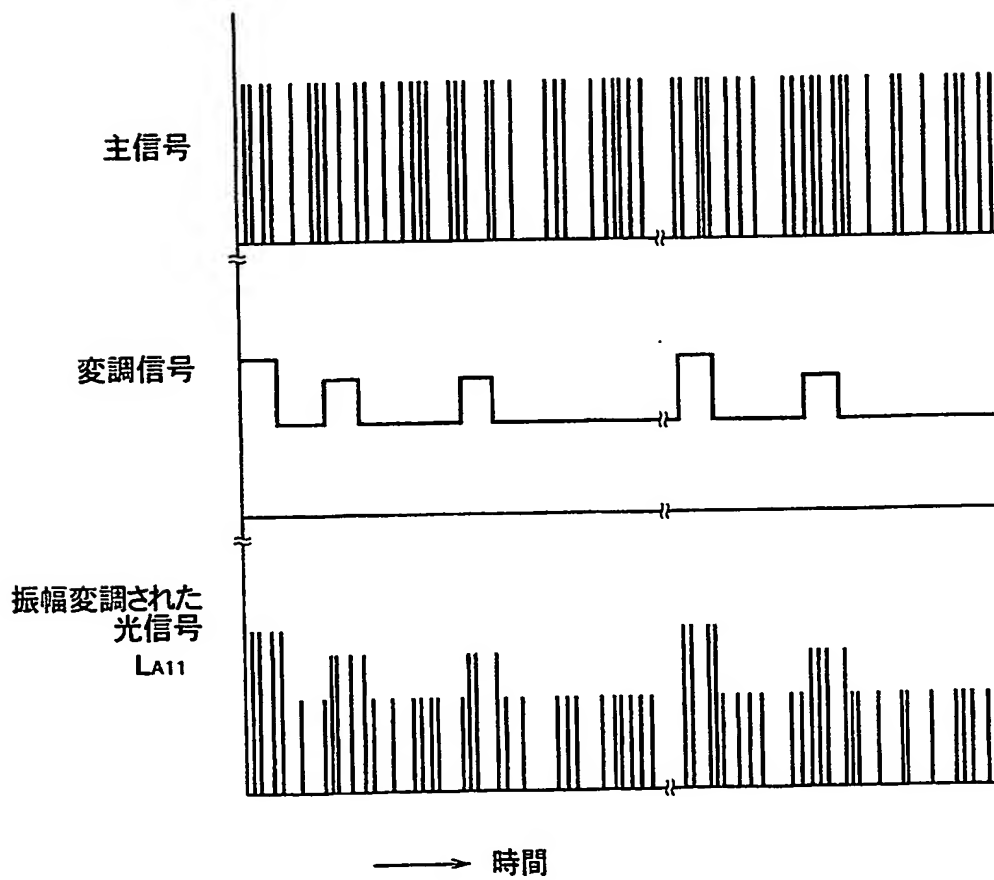
【図 11】



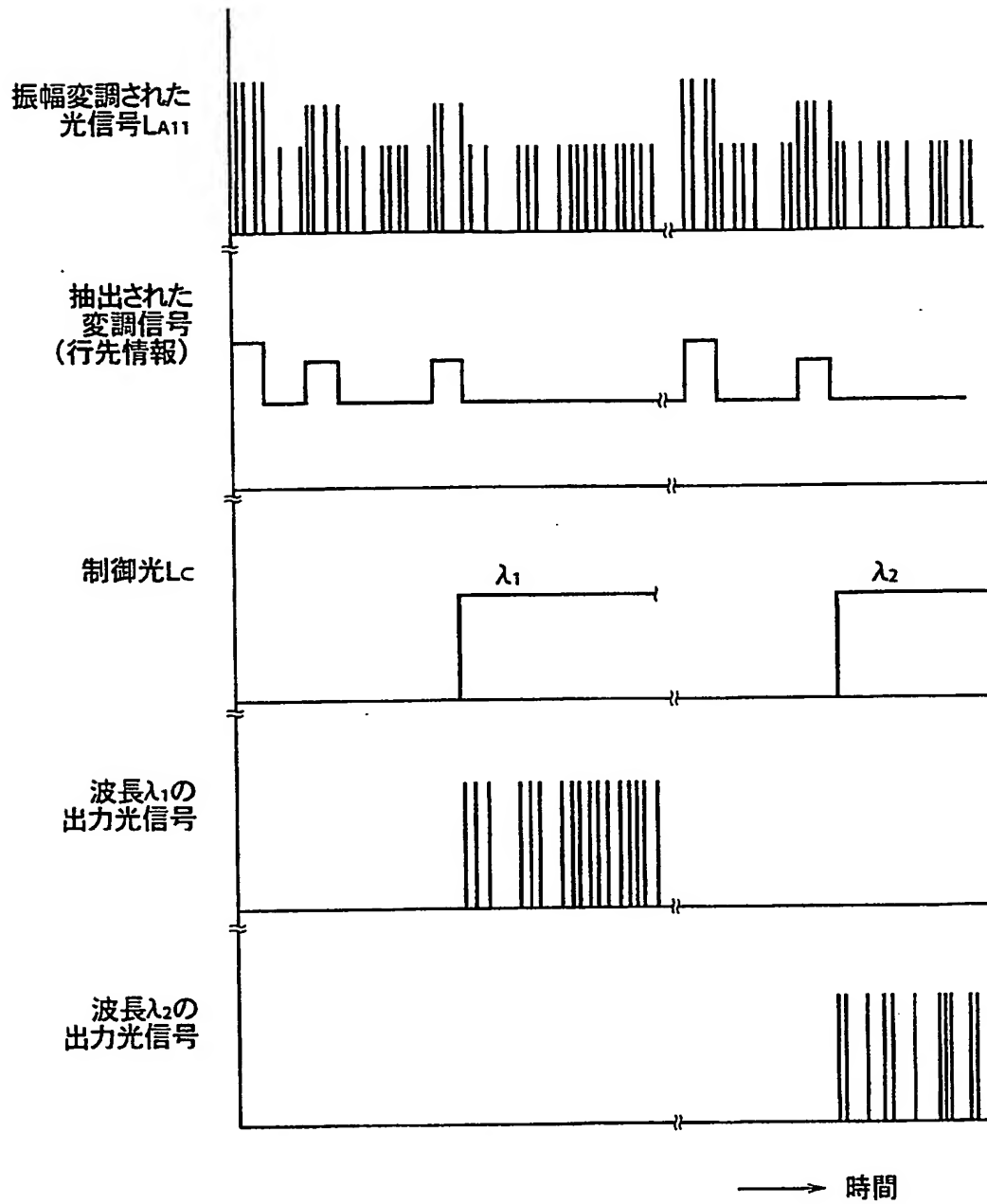
【図12】



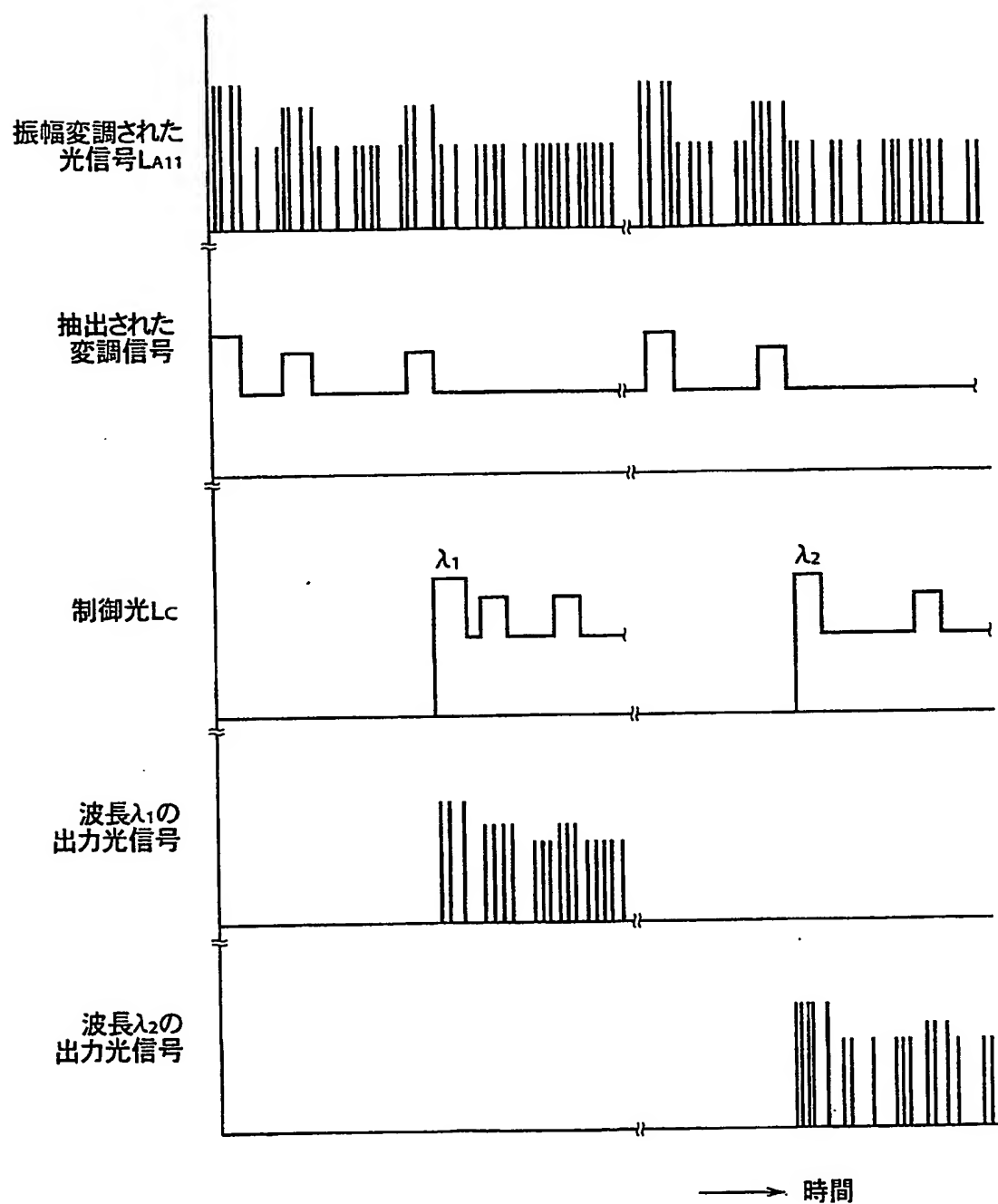
【図13】



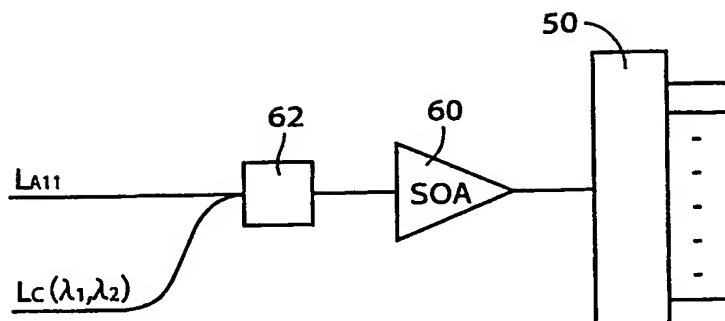
【図 14】



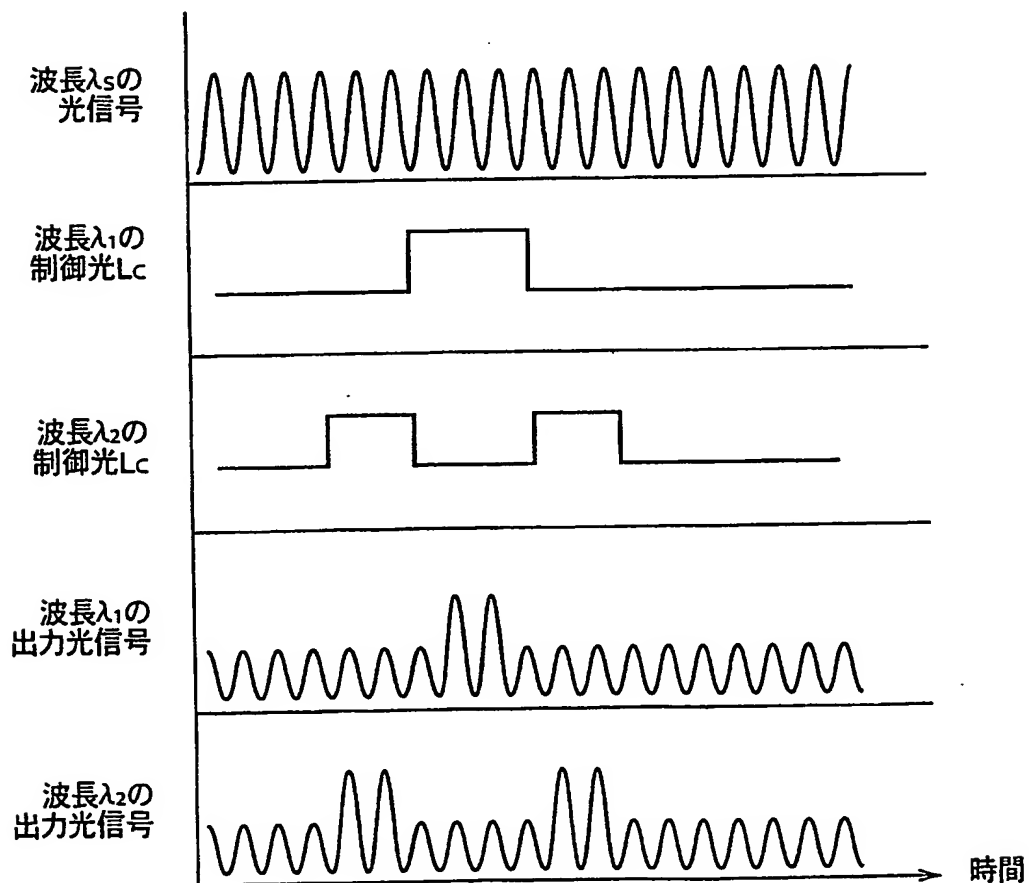
【図 15】



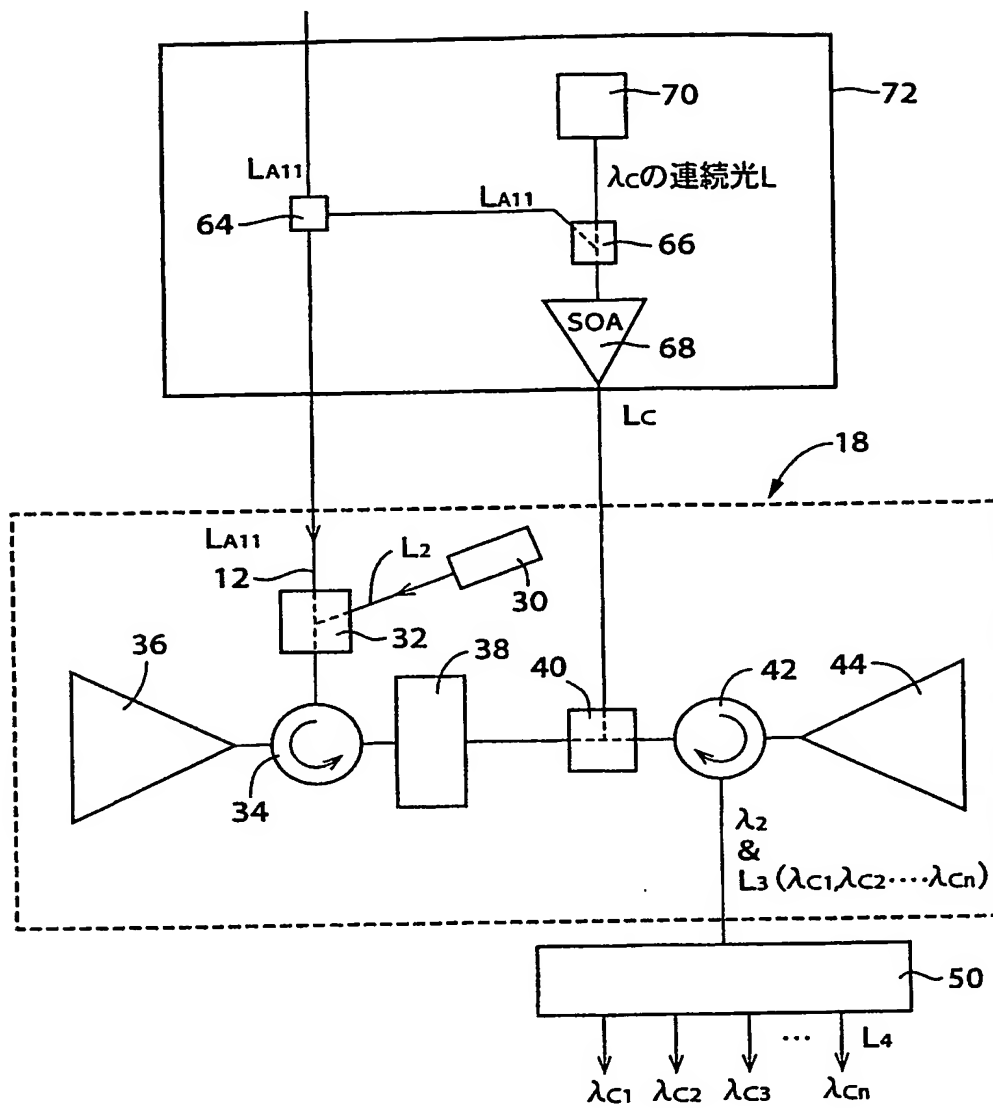
【図 16】



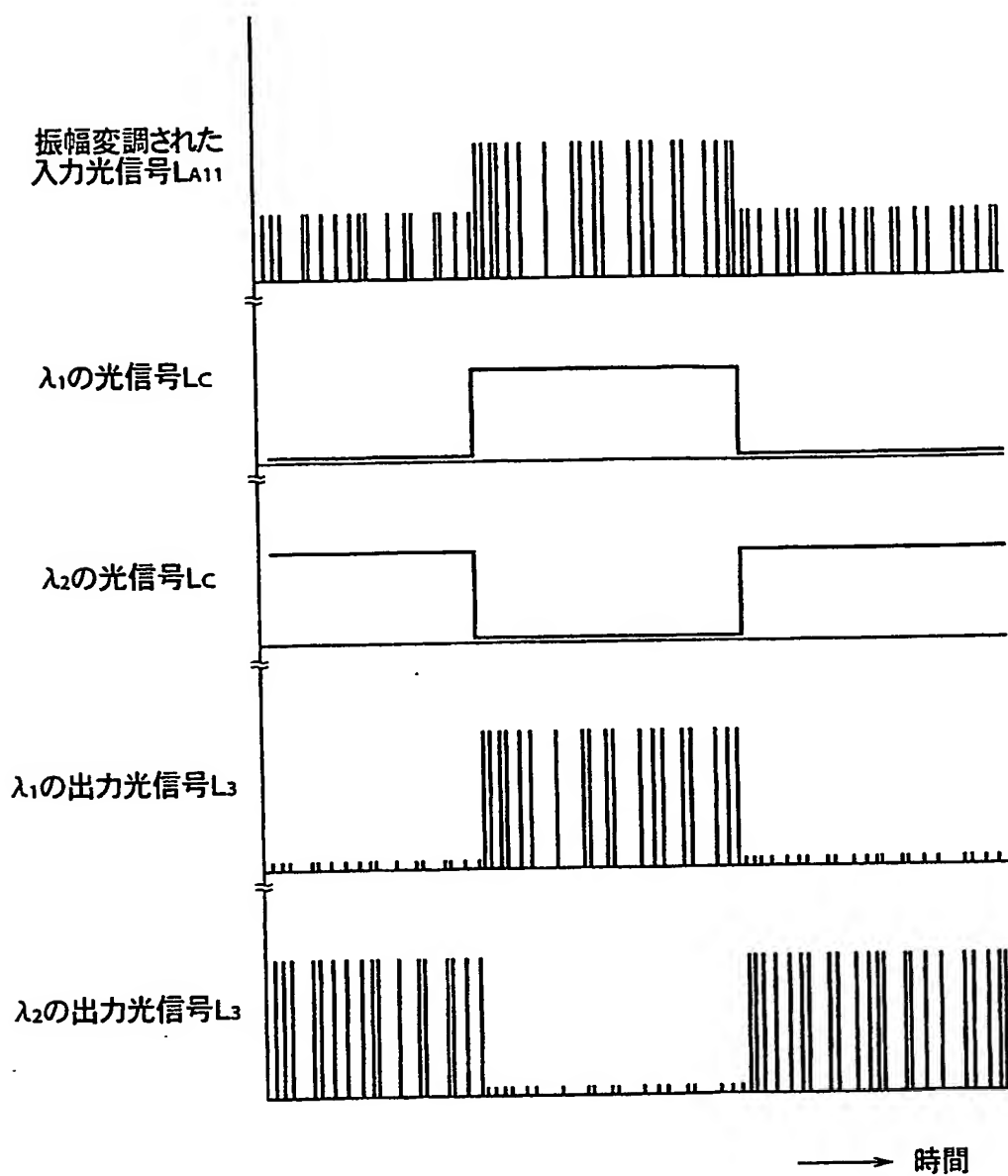
【図 17】



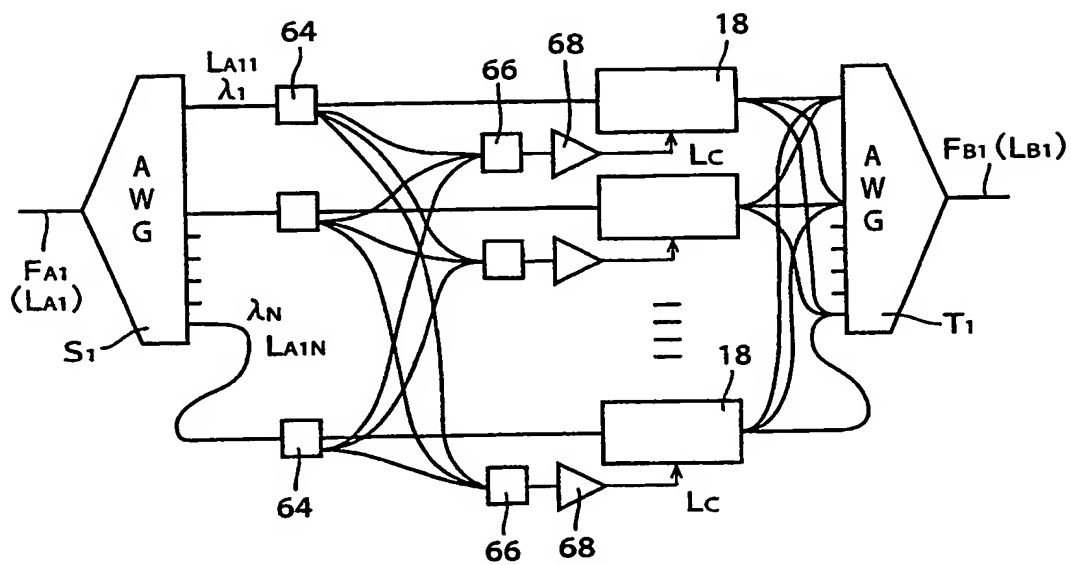
【図 18】



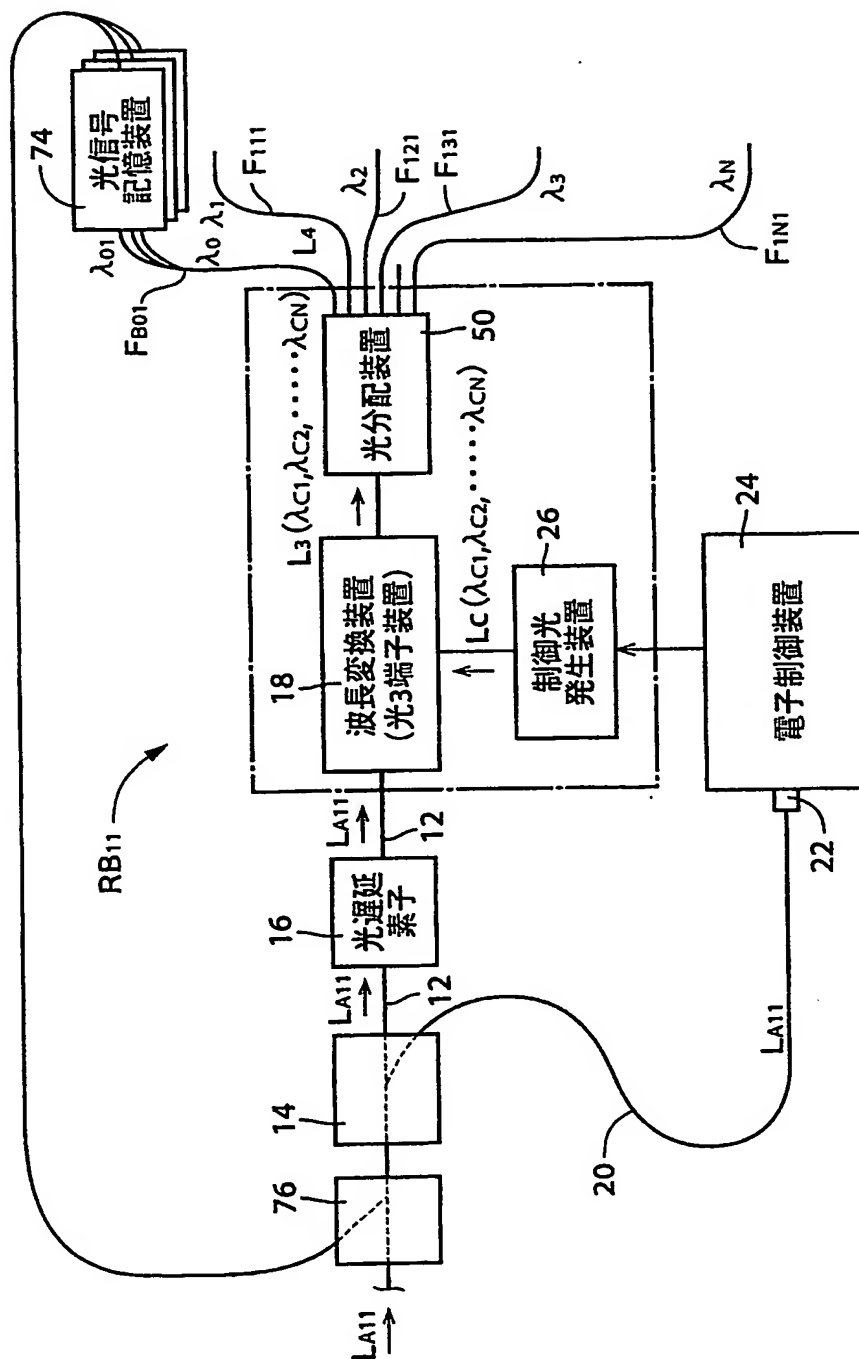
【図 19】



【図 20】



【図 21】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光信号のルーティングを高速で処理でき或いは装置が小型となる光信号中継装置を提供する。

【解決手段】 行先情報としてその一連の光信号 L_{A11} に振幅変調信号が付与され、その光信号 L_{A11} は振幅変調信号が示す行先へ転送される。このため、相互利得変調型の波長変換装置 18 に振幅変調された一連の光信号が入力される場合には、その光信号 L_{A11} の振幅変調が示す行先情報に対応した波長の制御光 L_C がその相互利得変調型の波長変換装置 18 に供給されると、その制御光 L_C と同じ波長の出力光が出力されるので、たとえば光分配装置 50 によりその出力光がその波長に応じた伝送路へ分配されることによってルーティングが行われるので、高速かつ小型のルーティング装置すなわち光信号転送装置或いは光信号中継装置 10 を構成することが可能となる。

【選択図】 図 3

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2003-059382
受付番号	50300361743
書類名	特許願
担当官	第四担当上席 0093
作成日	平成15年 3月 7日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成15年 3月 6日

次頁無

特願 2003-059382

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[396020800]

1. 変更年月日

1998年 2月24日

[変更理由]

名称変更

住 所

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

氏 名

科学技術振興事業団